4/13
Voedingsschakelingen

Inhoud

4/13.1 **Eenvoudige gestabiliseerde voeding voor 13,5 V bij 20 A**
(verschenen in het 1e basiswerk)

4/13.2 **Nicad-cel lader met tijdschakelaar**
(verschenen in de 10e aanvulling)

4/13.3 **Symmetrische 0 tot +/-20 V voeding**
(verschenen in de 30e aanvulling)

4/13.4 **Geschakelde DC/DC voeding voor microprocessors**
(verschenen in de 7e aanvulling)

4/13.5 **Professionele 0 - 50 V, 0 - 3 A voeding**
(verschenen in de 34e aanvulling)

4/13.6 **Een kleine laboratorium voeding**
(verschenen in de 8e aanvulling)

X **4/13.7** **Universele stroombron**
(verschenen in de 20e aanvulling)

X **4/13.8** **Universele kortsluitbeveiliging voor voedingen**
(verschenen in de 36e aanvulling)

4/13.9 **Nauwkeurige +5 V voeding met lage spanningsval**
(verschenen in het 2e basiswerk)

4/13.10 **Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C**
(verschenen in de 87e aanvulling)

4/13.11 **Universele stroombegrenzer**
(verschenen in de 103e aanvulling)

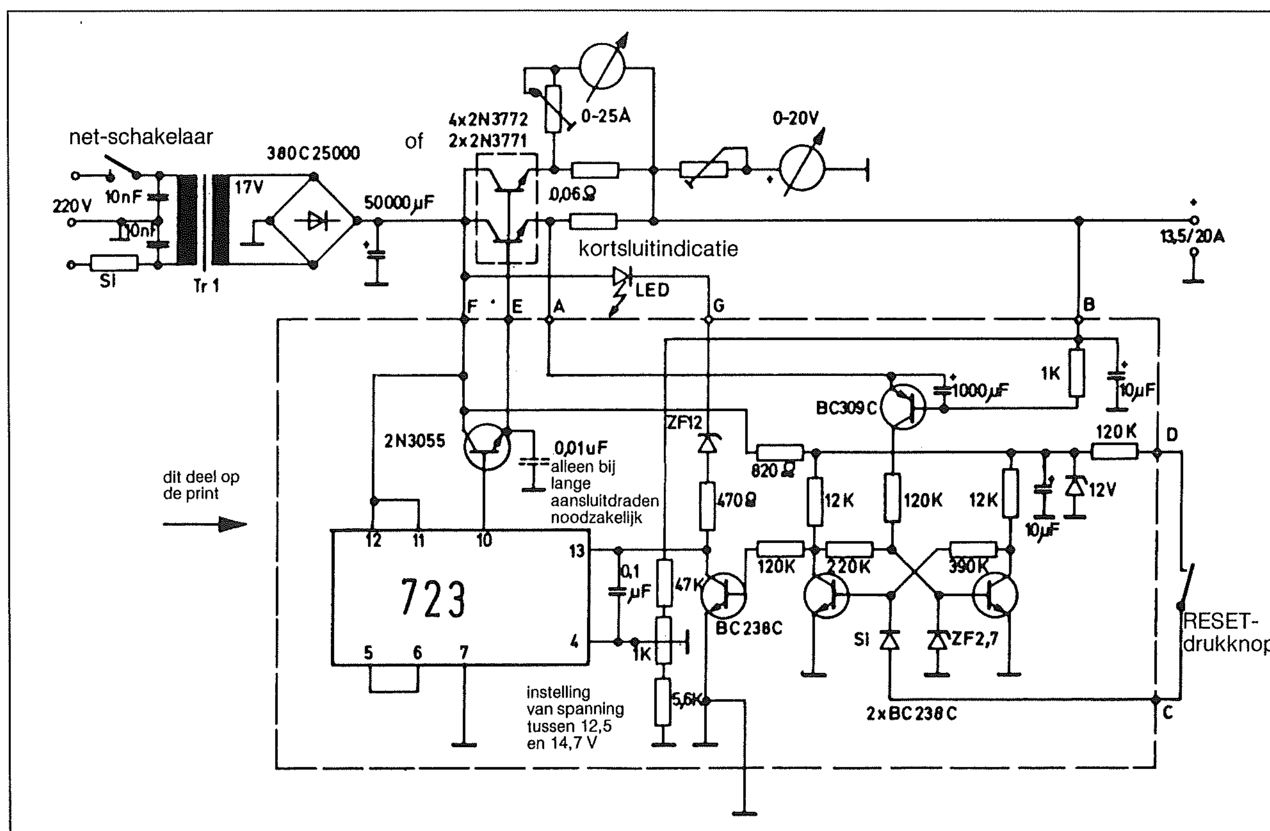
4/13.12 **Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA**
(verschenen in de 104e aanvulling)

4/13.13 **Symmetrische spanningen uit één voeding**
(verschenen in de 107e aanvulling)

4/13.1

Een eenvoudige gestabiliseerde voeding voor 13,5 V bij 20 A

De meeste korte of extrakorte golf zenderontvangers moeten worden gevoed uit een spanning van 12 à 13 V, omdat men er van uit gaat dat deze apparaten mobiel ingezet moeten kunnen worden en dus uit een auto-accu gevoed.
Sluit men zo'n apparaat aan op een eenvoudige zelfbouwvoeding, uitgerust met een automatische stroombegrenzing, dan schakelt deze begrenzing in de meeste gevallen al meteen bij het aanzetten van de zender in, dit vanwege de grote inschakelstroom van met name getransistoriseerde eindtrappen.
De in deze paragraaf beschreven voeding is speciaal voor dit soort toepassingen

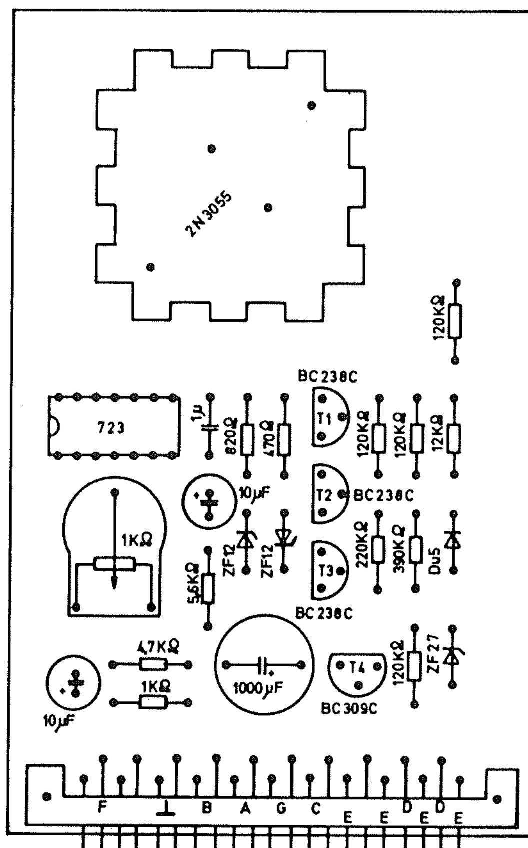


Figuur 4/13.1 -1: de schakeling van de voeding

13.1 Een eenvoudige gestabiliseerde voeding voor 13.5V bij 20A

ontwikkeld en is uitgerust met een vertraagd automatische stroombegrenzing.

Het schema is getekend in figuur 1 en volgt in grote lijnen de bekende algemene opbouw van een gestabiliseerde voeding. De geïntegreerde spanningsregelaar 723 levert, via de buffer 2N3055, de basisstroom voor de twee regeltransistoren 2N3772. In de emitter-leidingen van deze halfgeleiders zijn twee kleine weerstanden van 0,06 Ohm opgenomen. Deze zorgen voor een evenwichtige verdeling van de stroom tussen beide vermogenstransistoren. De onderste weerstand wordt ook gebruikt als stroom-sensor. De stroom die door deze weerstand vloeit, wekt een kleine spanningsval op, die naar de basis-emitter junctie van de BC309C wordt gestuurd. Tussen weerstand en transistor is echter een RC-netwerk geschakeld met een grote tijdconstante. Het is dit netwerkje dat verantwoordelijk is voor het vertraagd aanspreken van de overstroom-beveiliging.

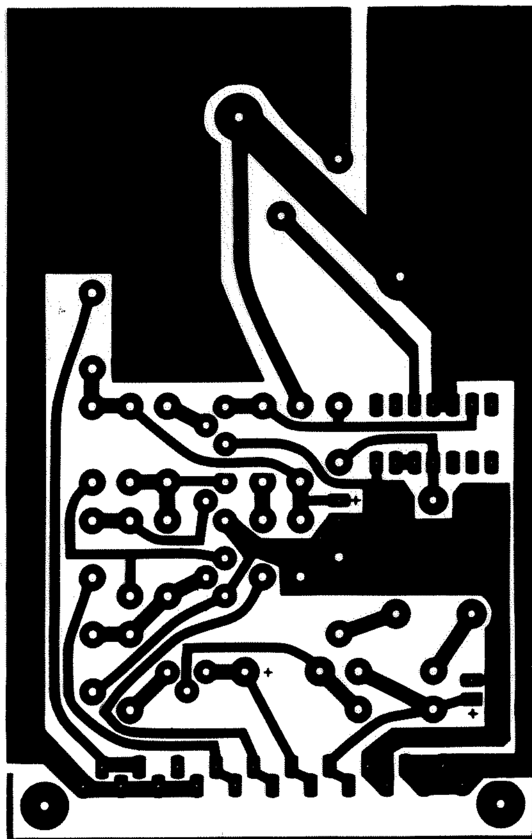


Figuur 4/13.1 -3: de bestukkingstekening voor de print van figuur 2

Puntsgewijs enige belangrijke opmerkingen:

1. de zekering spreekt aan bij een stroom van 20 A na twee seconde;
2. inschakelstromen die groter zijn dan de genoemde 20A en die korter dan 0,5 s optreden hebben geen effect;
3. het inschakelen van de beveiliging wordt aangegeven door het oplichten van een LED, de beveiliging kan weer worden uitgeschakeld door het bedienen van een tussen de punten C en D aangesloten RESET-drukknop;
4. door de vertraagde beveiliging is een goede werking van het apparaat bij alle denkbare belastingen verzekerd. De uitgangsspanning gaat echt naar o na het aanspreken van de elektronische zekering, zodat ook bij een onverhoopte kortsluiting geen enkele reststroom door de regeltransistoren vloeit. De afschakeltijd van 2 seconde is een compromis en zal in de meeste gevallen voldoende snel op calamiteiten reageren om de schade tot een minimum te beperken;
5. zou de voedings-trafo over een tweede wikkeling beschikken die een iets hogere spanning levert, dan kan men deze, na gelijkrichting en filtering, gebruiken voor het voeden van het IC (pennen 11 en 12) en de kollector van de 2N3055. De uitgangsspanning van de voeding blijft dan, ook bij maximale belasting, volledig vrij van brom.

13.1 Een eenvoudige gestabiliseerde voeding voor 13.5V bij 20A



Figuur 4/13.1 -2: de printplaat op schaal 1/1

4/13.2

Nicad-cel lader met tijdschakelaar

Nikkel-cadmium cellen worden zoals waarschijnlijk bekend, normaliter geladen met een stroom die ongeveer een tiende van de capaciteit bedraagt. Dat wil dus zeggen, dat een nicad-cel met een capaciteit van 1,2 Ah (ampere-uur) wordt geladen met een stroom van 120 mA bij een laadduur van 10 – 14 uur. Het is mogelijk nicad-cellen snel te laden met een beduidend grotere stroom. De laadtijd moet dan evenredig korter worden. Een dubbel zo grote laadstroom halveert de laadtijd enz. Om schade aan de cel te voorkomen is het raadzaam een nicad-cel niet te laden met een stroom groter dan ca. 5 x de normale laadstroom. Snelladen heeft op moderne nicad-cellen met gesinterde electroden geen nadelige uitwerking.

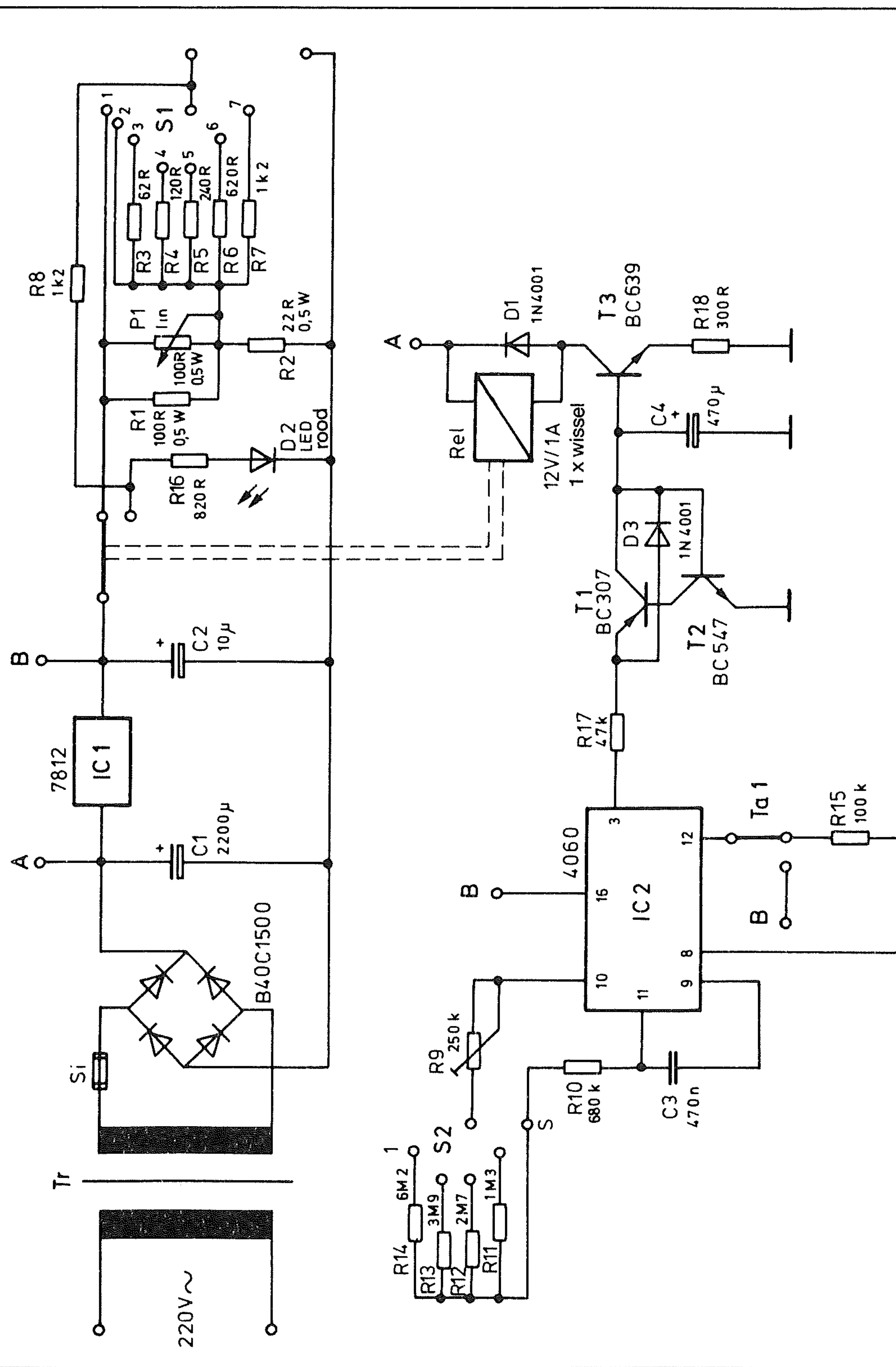
De hier beschreven schakeling is een universeel hulpmiddel voor zowel normaal- als snelladen van nicad-cellen . De laadstroom en de laadduur zijn onafhankelijk van elkaar in te stellen. Laadstromen van 10 mA tot 1 A kunnen gedurende 1 tot 10 uur op de nicad-cel worden aangesloten. Om de cellen van verschillen de afmetingen en types fysiek aan te sluiten zult U zelf de nodige klemmetjes moeten maken. Dit laatste zal echter geen onoverkomelijke problemen opleveren.

De schakeling bestaat uit 2 delen: de voeding (het bovenste deel van het schema) en de timer (het onderste deel). De voeding levert een instelbare spanning tussen 1,2 V en 12 V, terwijl de stroom instelbaar is tussen 10 mA en 1 A. De timer levert het schakelsignaal voor het relais. Na afloop van de ingestelde tijd schakelt het relais de nicadlader om van de ingestelde laadstroom naar 10 mA. Op deze stroom mag een nicad-cel zonder gevaar aangesloten blijven om te zorgen, dat hij vol is wanneer men hem nodig heeft. De tijdsduur wordt bepaald door de in IC2 (4060) aanwezige RC oscillator en natuurlijk de op de juiste pennen van dit IC aangesloten componenten. De frequentie van de oscillator wordt door de deler in het IC 14 maal gedeeld. Het uitgangssignaal van de deler schakelt via drijver T1 tot T3 het relais.

Schakelingsbeschrijving

De voeding, bestaande uit de nettransformator, gelijkrichter G1, condensator C1 en spanningsregelaar IC1, levert een gelijkspanning, die via het relaiscontact op de weerstanden R1, R2 en de potmeter P1 komt. Met P1 kan de spanning worden gevarierd tussen 1,2 V en 12 V. De gewenste uitgangsstroom wordt verkregen via een der weerstanden R3 tot R7. De keuze wordt gemaakt

13.2 Nicad-cel lader met tijdschakelaar



Figuur 4/13.2-1: Het schema

13.2 Nicad-cel lader met tijdschakelaar

met S1. Punt A is de voeding voor de relaisspoel. Punt B is de 12 V-voeding voor het oscilator/deler IC (IC2). Met behulp van R9 tot R14 en S2 kan de oscillatorfrequentie worden ingesteld. De 14 maal gedeelde oscilator frequentie verschijnt uiteindelijk op de uitgang (pen 3) van de deler. Via R17 zorgen de transistoren T1 en T2 voor de sturing van T3, die als drijver van de relaisspoel dient.

Als het relais bekrachtigd wordt, gaat het rustcontact open, waardoor de ingestelde laadstroom wordt onderbroken. Via R8 wordt aan de nicad-cel nu een stroom van 10 mA aangeboden. Deze stroom kan zonder gevaar onafgebroken blijven lopen en zal ontlading van de cel voorkomen. In deze conditie geeft LED D2 aan, dat de cel geladen is. Met drukschakelaar Ta1 kan een nieuwe laadperiode worden gestart. R9 dient om de timer af te regelen op de in onderstaande tabel afgedrukte tijden. Het spreek voor zich, dat dit het best gaat in stand 5 van S2.

Standen van de schakelaars en bijbehorende waarden

(Schakelaar 1)	(Schakelaar 2)
S1 stand 1 = 1 A	S2 stand 1 = 10 uur
S1 stand 2 = 500 mA	S2 stand 2 = 7 uur
S1 stand 3 = 200 mA	S2 stand 3 = 5 uur
S1 stand 4 = 100 mA	S2 stand 4 = 3 uur
S1 stand 5 = 50 mA	S2 stand 5 = 1 uur
S1 stand 6 = 20 mA	
S1 stand 7 = 10 mA	

Figuur 4/13.2-1: Het schema

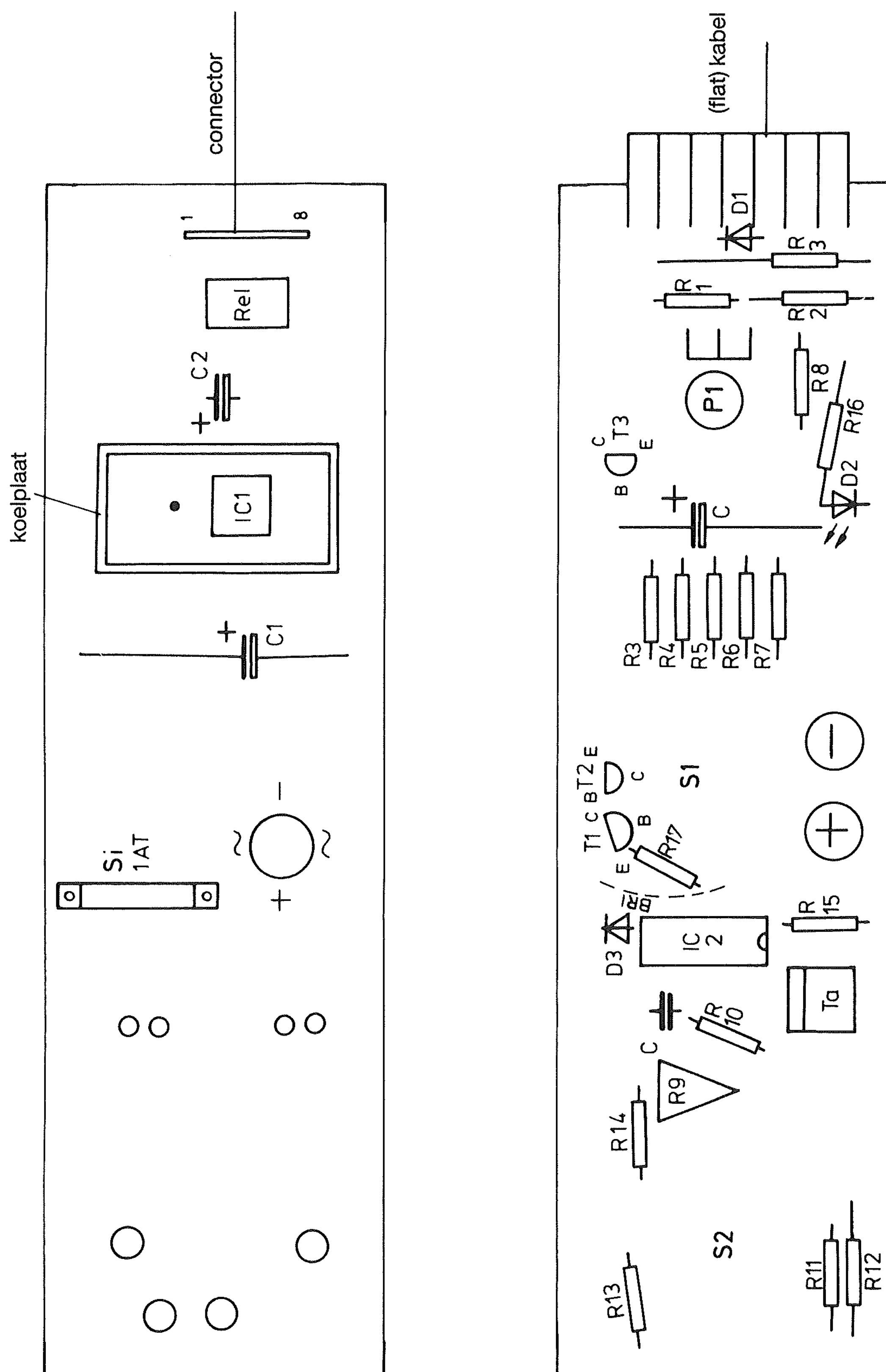
Onderlen lijst

Aanduiding	Omschrijving	Type/waarde	Opmerkingen
IC1	spanningsregelaar	7812	
IC2	binaire deler	4060	met interne oscillator
T1	PNP-transistor	BC307	
T2	NPN-transistor	BC547	
T3	NPN-transistor	BC639	
D1	diode	1N4001	
D2	diode	LED rood	doorsnede 5 mm
D3	diode	1N4001	
R1	weerstand	100 Ohm	kool 5%, ½ W
R2	weestand	22 Ohm	kool 5%, ½ W
R3	weerstand	62 Ohm	kool 5%, ¼ W
R4	weerstand	120 Ohm	kool 5%, ½ W

13.2 Nicad-cel lader met tijdschakelaar

Aanduiding	Omschrijving	Type/waarde	Opmerkingen
R5	weerstand	240 Ohm	kool 5%, ½ W
R6	weerstand	620 Ohm	kool 5%, ½ W
R7, R8	weerstand	1k2	kool 5%, ½ W
R9	weerstand	250 k	instelpot
R10	weerstand	680 k	kool 5%, ¼ W
R11	weerstand	1M3	kool 5%, ¼ W
R12	weerstand	2M7	kool 5%, ¼ W
R13	weerstand	3M9	kool 5%, ¼ W
R14	weerstand	6M2	kool 5%, ¼ W
R15	weerstand	100 k	kool 5%, ¼ W
P1	potmeter	100 Ohm	½ W, lineair
R16	weerstand	820 Ohm	kool 5%, ¼ W
R17	weerstand	47 k	kool 5%, ¼ W
R18	weerstand	300 Ohm	kool 5%, ¼ W
C1	elco	2200 uF/40 V	
C2	elco	10 uF/16	tantaal
C3	elco	470 uF	
C4	elco	470 uF/16 V	
Tr	transformator	12 V/1,5 A sec	
G1	gelijkrichter	B40C1500	
Rel	relais	12 V/1 A	1 x wissel
S1	draaischakelaar	7 standen	
S2	draaischakelaar	5 standen	
Ta1	druktoets		1 x wissel
–	zekeringhouder		
–	zekering	1 A	traag
–	netsnoer		
–	behuizing		

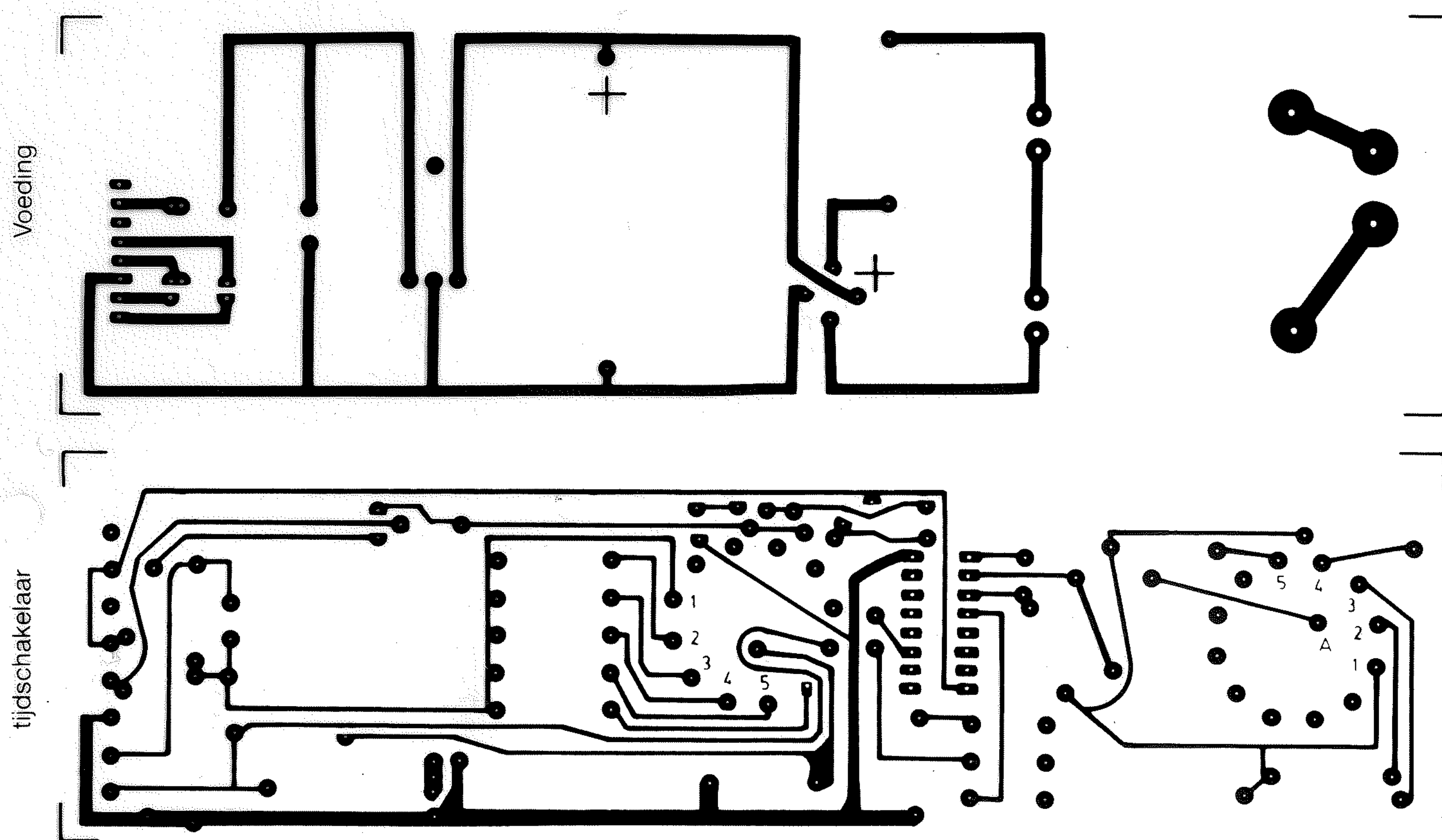
13.2 Nicad-cel lader met tijdschakelaar



Figuur 4/13.2-3: Onderdelenplattegrond

13.2 Nicad-cel lader met tijdschakelaar

13.2 Nicad-cel lader met tijdschakelaar



Figuur 4/13.2-2: Printlay-out (soldeerzijde)

4/13.3 Een laboratoriumvoeding voor 2 x 0 tot 20 V

De in dit hoofdstuk beschreven laboratorium-voeding is samengesteld uit twee volledig identieke en gescheiden schakelingen, die ieder in staat zijn een goed gestabiliseerde spanning tussen 0 en 20 V te leveren. De maximale stroom-capaciteit bedraagt 3 A, waarbij een stroombegrenzing is ingebouwd die instelbaar is tussen 2 mA en 3 A.
De volledige scheiding heeft als voordeel dat men de twee schakelingen desgewenst in serie of in parallel kan schakelen, waardoor in het eerste geval de uitgangs-spanning wordt verhoogd tot maximaal 40 V en in het tweede geval de te leveren stroom toeneemt tot 6 A.

Schema-beschrijving

Het schema van de dubbele voeding is getekend in figuur 4/13.3 -1. De netspanning wordt door een transformator met twee gescheiden wikkelingen omgezet in twee wisselspanningen van ongeveer 24 V. Deze spanningen worden op de algemeen gebruikelijke manier gelijkgericht (brug) en afgevlakt door een grote elektrolytische condensator (4700 μF).
Deze ongestabiliseerde spanningen worden aan een serie-stabilisator aangeboden, samengesteld uit een vermogenstransistor 2 N 3055 en een geïntegreerde spannings-regelaar van het type 723.

De geïntegreerde spannings-regelaar 723 heeft een zeer stabiele interne referentie-spanning van ongeveer 7,15 V, die op pen 6 ter beschikking staat. In deze schakeling wordt deze referentiespanning via een spanningsdeler aangeboden aan de niet-inverterende ingang (pen 5) van de in het IC aanwezige verschilversterker. De weerstands-deler (10 k-Ohm/1,5 k-Ohm) is zo gedimensioneerd dat slechts ongeveer 0,9 V van de totale referentie op de ingang van de verschilversterker verschijnt. De inverterende ingang van de verschilversterker is via een tweede spanningsdeler verbonden met de uitgang van de voeding. Draait met de potentiometer van deze tweede deler op nul , dan ligt de inverterende ingang van de verschilversterker rechtstreeks aan de uitgang van de schakeling. De schakeling rondom de serie-transistor is nu zo samengesteld dat er onder deze omstandigheden toch nul volt op de uitgang van de voeding aanwezig zal zijn.
De in het IC aanwezige NPN-uitgangstransistor vormt samen met de PNP BD 140 en de NPN 2 N 3055 een zogenoemde "super-emitter-volger" met uitstekende eigenschappen.

Ook voor de stroombegrenzing wordt gebruik gemaakt van de interne 7,15 V referentie-spanning. De basis van de stroombegrenzende transistor (pen 2)

4.13.3 Een laboratorium-voeding voor 2 x 0 tot 20 V

wordt aangesloten op de loper van een potentiometer, die deel uitmaakt van een spanningsdeler. Deze deler is geschakeld tussen de referentie-uitgang (pen 6) en de negatieve uitgang van de voeding. Met deze potentiometer kan men dus een kleine positieve spanning op de basis van de transistor aanbrengen. De emitter van de stoombegrenzende transistor (pen 3) is verbonden met de linker aansluiting van een kleine weerstand van 0,22 Ohm, die dienst doet als stroom-sensor. De stroom die door de voeding wordt geleverd zal over deze kleine weerstand een spanningsval doen ontstaan, waarvan de grootte recht evenredig is met de stroom. De stroomrichting heeft tot gevolg dat de emitter negatiever wordt naarmate de stroom toeneemt. Als de stroom stijgt, zal de spanning tussen basis en emitter van de transistor op een bepaald moment de 0,7 V geleidings-spanning overschrijden, de transistor gaat geleiden en de stroombegrenzing treedt in werking. Men kan de stroom waarbij dit gebeurt veranderen door de positieve spanning op de basis (afkomstig van de interne referentie) te variëren. Een vergroten van deze positieve voor-spanning zal tot gevolg hebben dat de transistor bij een kleinere stroom gaat geleiden, omdat de emitter dan immers minder negatief moet worden om de transistor toch in geleiding te sturen.
De stroombegrenzings-schakeling is zeer gevoelig: in de uiterste stand van de potentiometer spreekt de regelaar reeds Dit heeft tot gevolg dat men niet iedere volt-meter op de schakeling kan aansluiten! De goedkope draai-ijzer instrumenten, bijvoorbeeld, zijn zo ongevoelig dat zij meer dan 2 mA verbruiken. Zelfs bij open voeding zal de spanning bij gebruik van zo'n meter en stroom-begrenzing in de meest gevoelige stand in elkaar zakken. Men moet dus een draaispoelmeter gebruiken, of veel beter, een van de talrijke digitale paneel-metertjes die op dit moment zeer goedkoop worden aangeboden.
De potentiometer van 10 k-Ohm, waarmee de grootte van de uitgangs-spanning wordt ingesteld, moet rechtstreeks met de positieve uitgangs-klem van de voeding worden verbonden. Doet men dat niet, dan wordt de spanningsval over de ampèremeter niet weggeregeld en dan gaan de stabiliserende eigenschappen van de voeding verloren!

Bij kortsluiting staat de volledige ongestabiliseerde spanning over de serietransistor. Een eenvoudige berekening leert dat er onder deze extreme conditie ongeveer 100 W in de 2 N 3055 wordt gedissipeerd. Wil deze halfgeleider dat overleven, dan is het noodzakelijk deze transistor op een grote koelplaat met een thermische factor van maximaal 1 °K/W te monteren en koelpasta toe te passen. De stuur-transistor BD 140 moet worden voorzien van een vinger-koelplaat met een thermische factor van ongeveer 10 °K/W.

Het zal duidelijk zijn dat men de twee deel-schakelingen volledig gescheiden moet opbouwen en dat geen enkel onderdeel van het ene deel contact mag maken met het andere deel. Dit ligt misschien voor de hand, maar denk er aan bij het monteren van de transistoren op hun koelplaat. Goed isolseren is de boodschap!

4.13.3 Een laboratorium-voeding voor 2 x 0 tot 20 V

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/3 W

4 x 68 Ohm
4 x 220 Ohm
2 x 330 Ohm
2 x 680 Ohm
2 x 1,5 k-Ohm
2 x 4,7 k-Ohm
2 x 10 k-Ohm

Weerstanden, draadgewonden, 10 W

2 x 0,22 Ohm

Potentiometers, lineair, mono

2 x 470 Ohm
2 x 10 k-Ohm

Condensatoren

2 x 4700 μF, 36 V
2 x 2,2 μF, 36 V
2 x 470 pF, keramisch

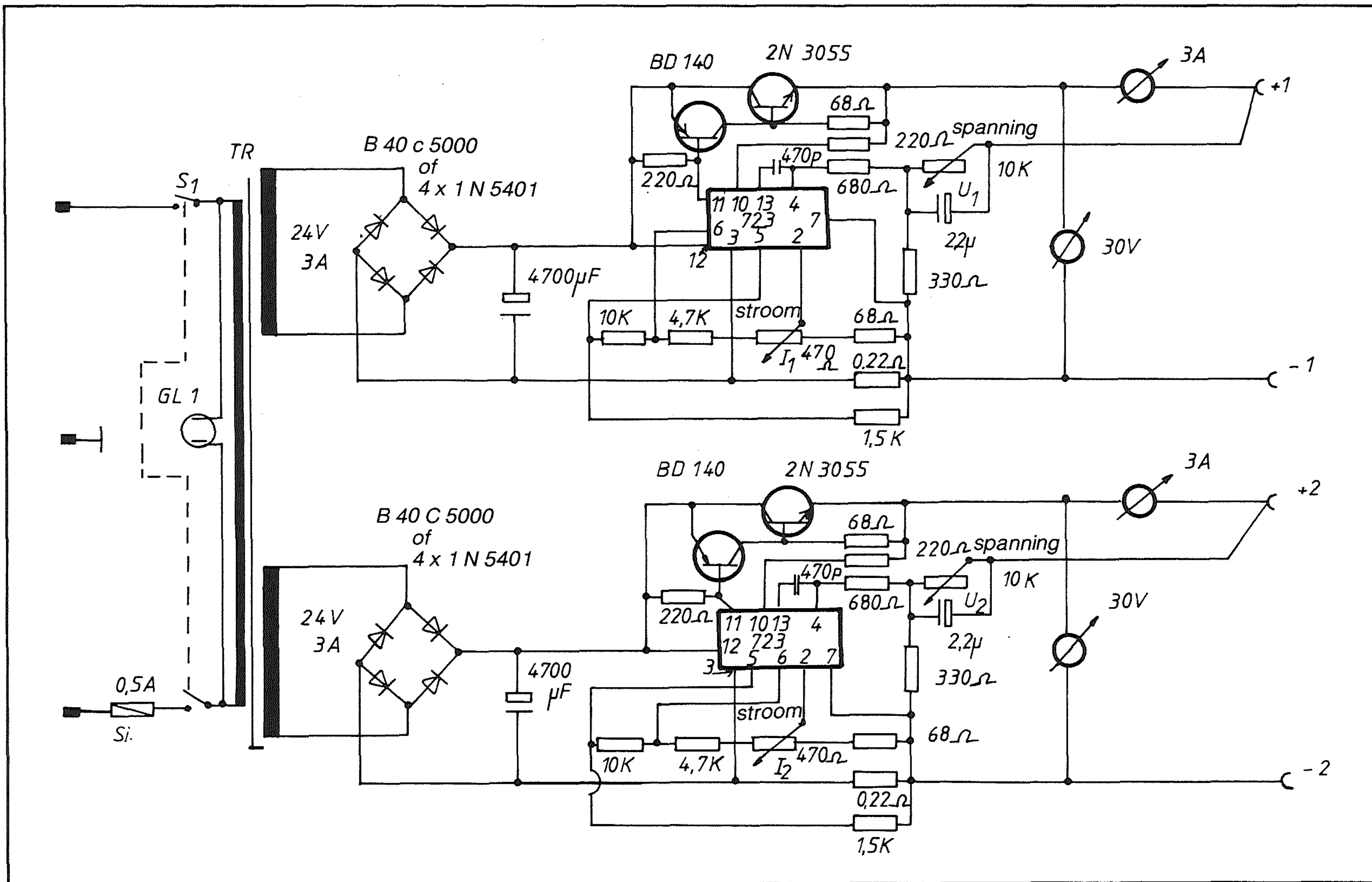
Halfgeleiders

8 x 1 N 5401 (of 2 x B 40 C 5000)
2 x BD 140
2 x 2 N 3055
2 x μA 723, dual-in-line

Diversen

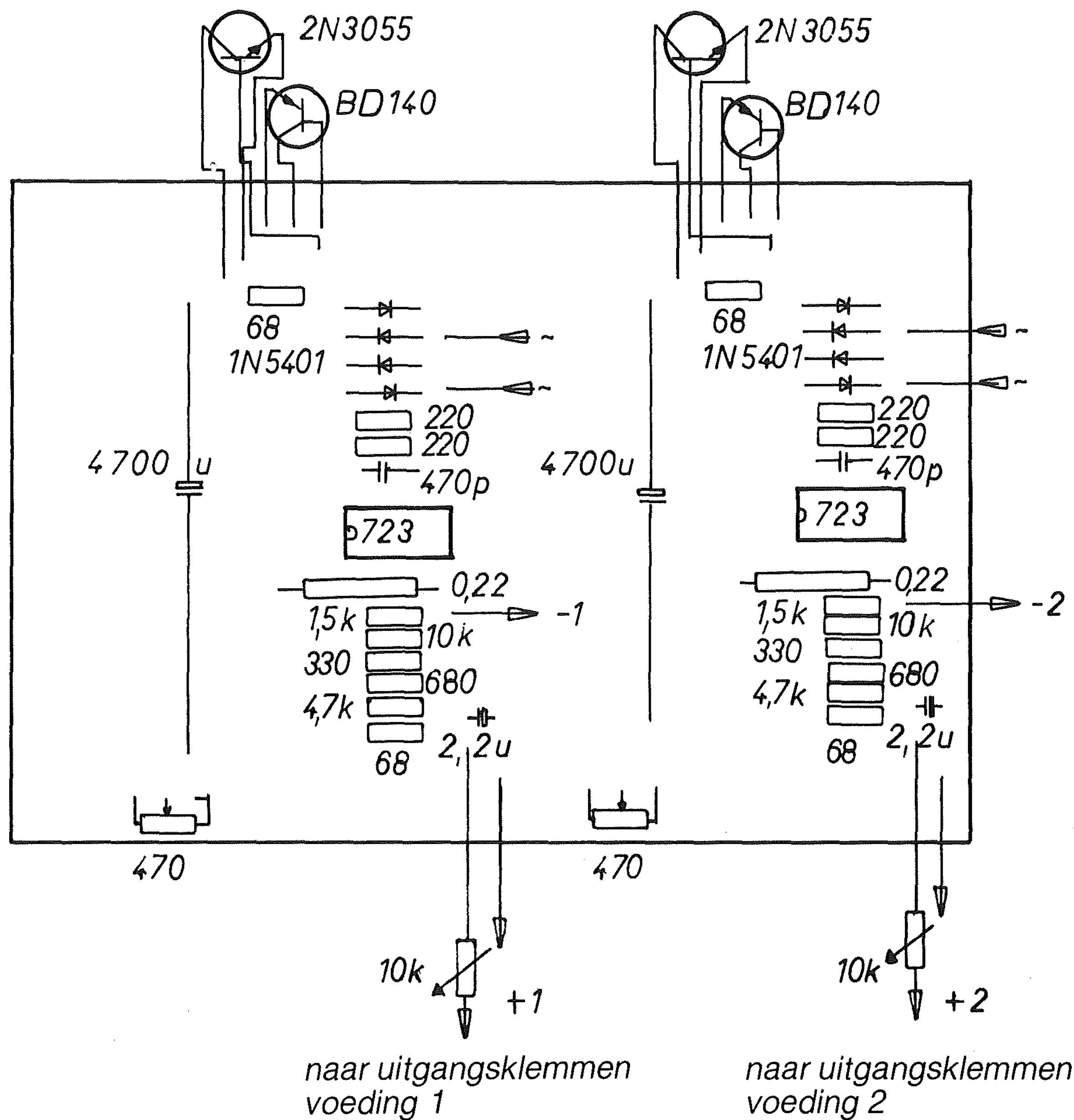
1 x trafo, 2 x 24 V, 2 x 3 A
1 x zekerings-houder met 1 A zekering
1 x netspanningscontrole-lampje (neon)
2 x rode stekerbus
2 x zwarte stekerbus
1 x kastje, bijvoorbeeld TEKO 484
1 x netkabel
1 x netschakelaar
4 x knop voor 6 mm as
2 x isoleer-set voor TO 3
2 x koelplaten met 1 °K/W
2 x koelplaatjes met 10 °K/W
2 x ampere-meter 3 A
2 x volt-meter 30 V

4.13.3 Een laboratorium-voeding voor 2 x 0 tot 20 V



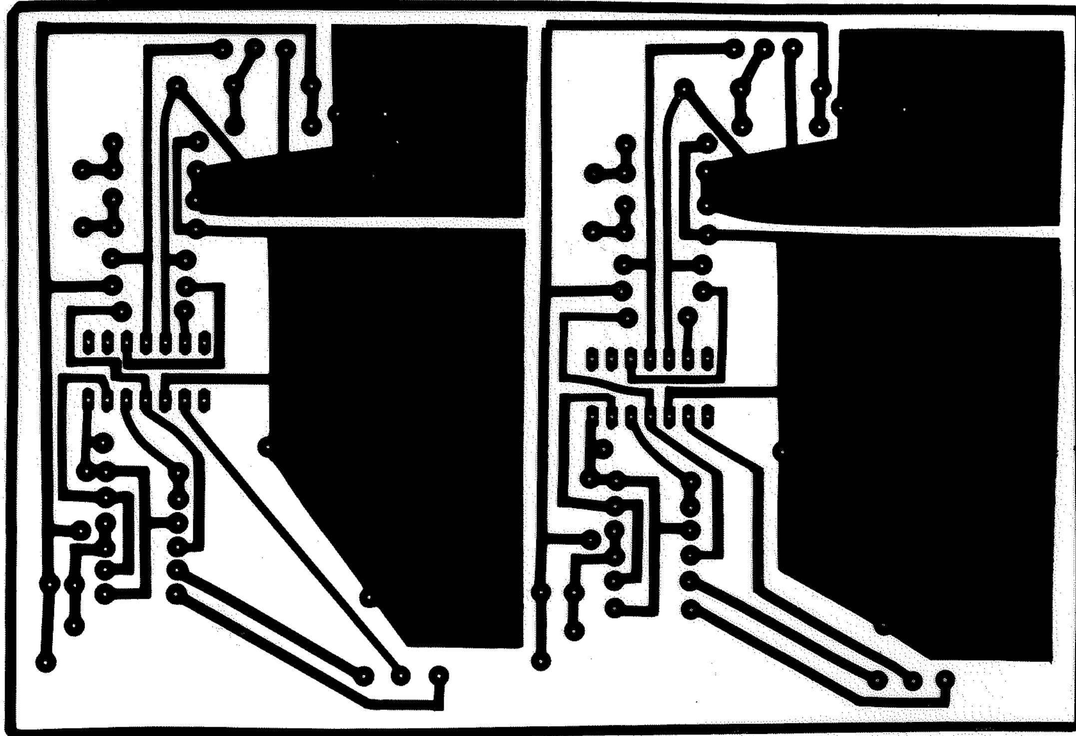
Figuur 4/13.3 -1:
Volledig schema van de dubbele laboratorium-voeding.

4.13.3 Een laboratorium-voeding voor 2 x 0 tot 20 V



Figuur 4/13.3 -2:
De plattegrond van de print

13.3 Een laboratoriumvoeding voor 2 x 0 tot 20 V



Figuur 4/13.3 -3:
Print lay-out

4/13.4 Geschakelde DC/DC voeding voor microprocessors

De meeste oudere gelijkspanningsvoedingen voor microprocessoren gebruiken een serie-regeling, waarin een flink stuk van het vermogen verloren ging en onnodig veel warmte werd geproduceerd. Het rendement werd hierdoor negatief beïnvloed.
Schakelende voedingen zorgden voor een flinke verbetering van het rendement. Daarnaast is de warmteproductie aanzienlijk geringer en zijn zij kleiner. De in dit hoofdstuk beschreven voeding werkt volgens het pulsbreedte modulatieprincipe met een schakelfrequentie van om en nabij de 20 kHz. Het ingangsbereik mag met zijn 9 à 30V behoorlijk worden genoemd. De voeding levert +5V/12A, +15V/1,5A en -15V/1,5A.

Algemene opmerkingen over schakelende voedingen
Hebben schakelende voedingen dan helemaal geen nadelen? Zeker wel, de restbrom is meestal veel hoger (tot ca. 10 maal) dan in seriegeregelde voedingen. Voor de meeste microprocessorschakelingen is deze brom echter gering genoeg om een probleemloze toepassing te garanderen. Ook aan de ingangszijde is het moeilijker storingen weg te werken en te voorkomen dat deze op het net terecht komen. De voordelen liggen zoals eerder vermeld in een hoog rendement (tot 80%) en een geringer volume (ca. 1/5). De hieronder beschreven voeding heeft een rendement tussen de 72% en 78%, afhankelijk van de afname van het vermogen en de ingangsspanning. Het hoogste rendement is te verkrijgen bij een ingangsspanning van 16V.

Toelaatbaar ingangsspanningsbereik:
van >= 9V tot <= 30V, resp.
van >= 11V tot <=30V bij gebruik van de Power Fail schakeling.

Spanningsomzetter voor de 5V uitgang
In fig. 4/13.4-1 vindt u het principesymetrische spanningsverlagingsschasymetrische spanningsverlagings schakeling is uitgevoerd. Het schema vindt u in figuur 4/13.4-4. De schakeling is opgebouwd rondom het pulsbreedtemodulatie-IC SG 3524 I van Silicon General. Dit IC bevat een oscillator, waarvan de frequentie door een externe RC-combinatie wordt bepaald. Deze frequentie mag maximaal ca. 100 kHz bedragen. Voor de berekening van de frequentie geldt de formule $t=R_t \times C_t$. De zaagtandspanning op de

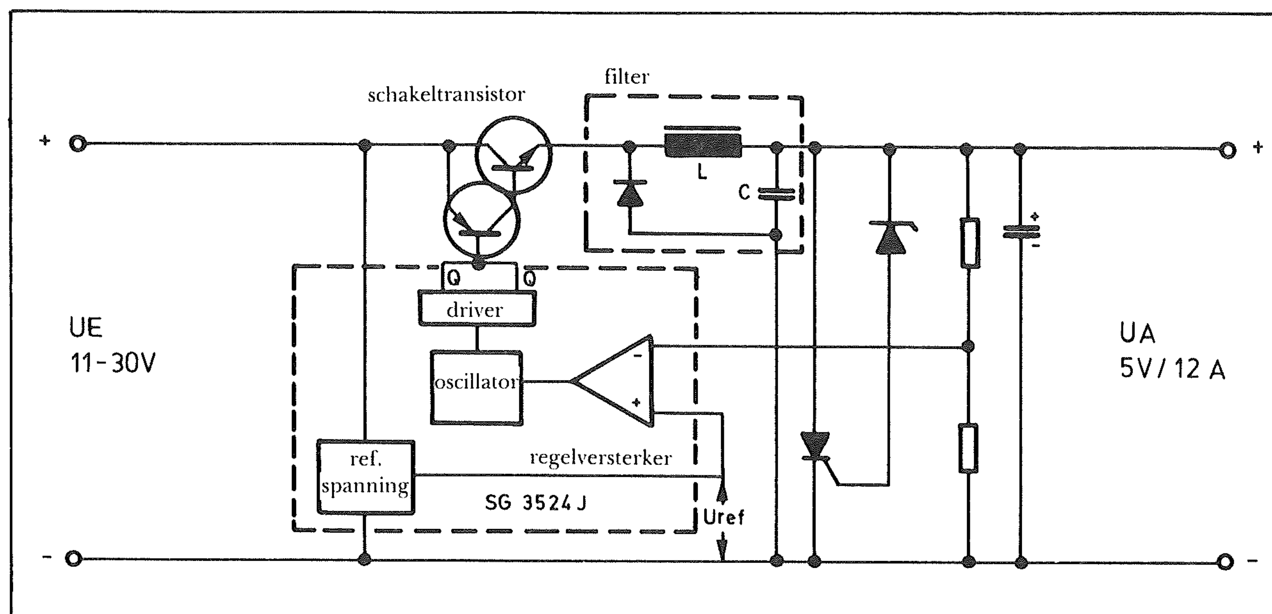


Fig. 4/13.4-1: Principeschema van een schakeling met een uitgangsspanning van 5V

tijdbepalende condensator wordt toegevoerd aan de niet-inverterende ingang van een comparator.
Een spanning afkomstig van de "fout"-versterker en de stroombegrenzingsschakeling wordt aan de inverterende ingang van een comparator aangeboden. Daarmee wordt de drempel van de comparator geregeld, waardoor de uitgangspulsbreedte varieert. Het op deze manier gegenereerde signaal wordt in tegenfase met de oscillatorfrequentie aan een "OR"-poort aangeboden. De uitgangen hiervan sturen twee uitgangstransistoren in tegenfase. Door het parallelschakelen van de uitgangstrappen verkrijgt men een pulsbreedte-variatie met een duty-cycle-regeling van 0 tot 90%. De uitgangstransistoren van het IC sturen een PNP-transistor, die als stuurtrap voor een NPN-transistor fungeert. Op deze wijze verenigt men de voordelen van een Darlingtontransistor met die van een normale transistor. Terwijl bij Darlington transistors de U_{CEsatt} groter is dan 1V, blijft bij de bovengenoemde methode U_{CEsatt} onder de 0,2V, waardoor het verlies in de eindtraptransistor wordt beperkt. Door een extra spoel op te nemen tussen basis en emittor van de eindtraptransistor, wordt een snelle afvoer van de ladingsdragers in de basis bereikt, waardoor de transistor sneller spert. Bij het inschakelen van de transistor komt de ingangsspanning op het LC-filter te staan en zal de stroom door de spoel zaagtandvormig toenemen. Als de transistor afschakelt, dan zal de in de spoel opgeslagen energie de stroom op peil houden, doordat ze via de diode V11 loopt. De ingang van het filter ligt nu op (bijna) 0V; de stroom in L2 zakt weer naar de oude waarde en het geheel herhaalt zich.
De in het IC aanwezige + 5V referentiespanning wordt gedeeltelijk

(1/2 Uref) aan de niet inverterende ingang van de eveneens aanwezige regelversterker aangeboden. Aan de inverterende ingang wordt de helft van de uitgangsspanning (1/2 Ua) aangeboden.

Bij wijziging van de belasting, zal de resulterende wijziging van de uitgangsspanning door verandering van de pulsbreedte tot gevolg hebben, dat de uitgangsspanning wordt bijgeregeld en constant blijft. De uitgangsspanning kan uit de volgende formule worden berekend:

$$Ua = \frac{\frac{Uref}{2}(R1 + R2)}{R1}$$

Om de achterliggende elektronica te beschermen tegen overspanning is een thyristor toegevoegd, die bij overschrijden van de zenerspanning wordt getriggerd, waardoor de uitgangsspanning wordt kortgesloten. De dynamische stroombegrenzing spreekt aan bij een verschilspanning van 0,2V ten opzichte van aarde. Dat zou betekenen, dat er in de terugvoer (aard-) leiding een stroombegrenzingsweerstand moet worden opgenomen, waardoor ingangs- en uitgangs-aarde niet meer met elkaar zijn verbonden, hetgeen dan weer problemen met zich meebrengt voor de andere voeding (15 V). De oplossing is een weerstand in de plusleiding met een extra opamp. Deze oplossing heeft bovendien nog het voordeel, dat de stroombegrenzingswaarde eenvoudiger is aan te passen.

Spanningsomzetter voor de 15V uitgang

Fig. 4/13.4-2 is het principeschema van de 15V voeding, die zowel + als - 15V moet leveren. Het schema vindt u in fig. 4/13.4-5. Ook voor deze schakeling werd hetzelfde IC SG 5324 I toegepast. Deze voeding werkt met een tegenfaseomzetter met transformator. Bij deze tegenfaseschakeling, die meestal in gelijkspanningsomzetters wordt gebruikt, werkt elke uitgangstransistor met een van de regelstand afhankelijke duty-cycle van 0% tot 45%.

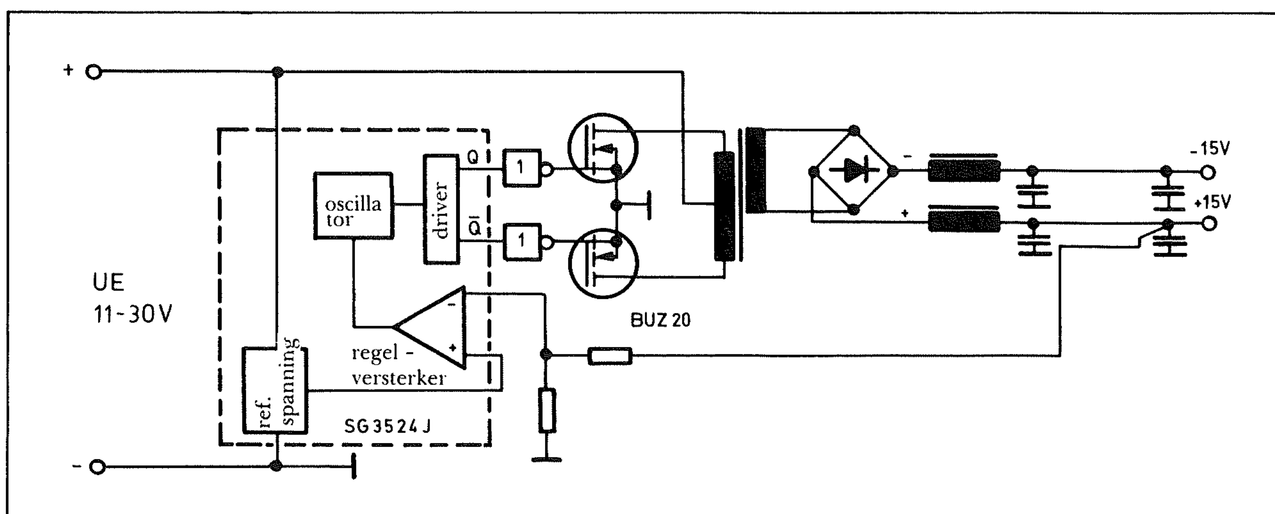


Fig. 4/13.4-2: Principeschema van een schakeling met een uitgangsspanning van 15V

De eindtrap is samengesteld met VMOS-field-effect-transistoren, die hun sturing krijgen via twee CMOS-drivers CD 4049. De zes in elke CD 4049 aanwezige drivers zijn parallel geschakeld. Dat is nodig om genoeg stroom te kunnen leveren voor een snelle ompoling van de gate-capaciteit. Op deze wijze kunnen de transistoren in minder dan 100 ns. schakelen, waardoor een hoog rendement wordt bereikt.
De +15V uitgangsspanning wordt door de spanningsdeler R58/61,57 gedeeld, zodat aan de inverterende ingang van de regelversterker een spanning van 2,5V wordt aangeboden. De interne referentiespanning wordt door R53,54 door twee gedeeld en aan de niet inverterende ingang van de regelversterker aangeboden. Bij verandering van de belasting wordt via de regelversterker de pulsbreedte zo veranderd, dat de uitgangsspanning gelijk blijft.
Aangezien de terugkoppeling van de +15V afkomstig is, zou bij ongelijke belasting van de beide 15V uitgangen de spanningsregeling niet goed meer functioneren. Daarom werd een zogenaamde dynamische belasting aangebracht, die de beide 15V spanningen met elkaar vergelijkt. De plus en minus 15V worden via R5 resp. R6 aangeboden aan de plus ingang van D1. en vormen zo een knooppunt. Als nu bijvoorbeeld de plus 15V zwaarder wordt belast dan de min 15V, dan zal de absolute waarde van de min 15V groter worden, dus de min 15V wordt negatiever.
Hierdoor wordt de opamp D1 gestuurd, waardoor V2 in geleiding komt. Het gevolg is, dat de -15V met R2 wordt belast en de uitgang zal constant op -15V blijven. De verdere werking is vergelijkbaar met die van de 5V voeding, behalve dat de stroombegrenzing hier in de aardleiding is opgenomen. Verder is de schakeling nog voorzien van een Power-Fail-schakeling, die bij het wegvallen en bij het weer terugkomen van de spanning een paar voor een microprocessor essentiële signalen opwekt.

Werking van de Power-Fail schakeling

Een Power-Fail-signaal wordt opge-

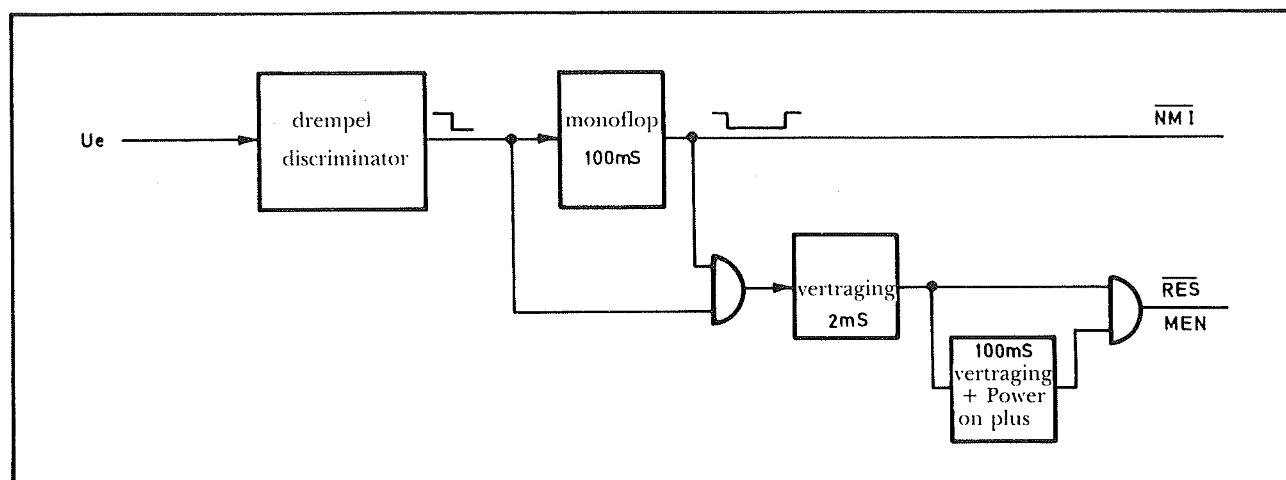


Fig. 4/13.4-3: Blokschema Power Fail

wekt, als de ingangsgelijkspanning onder een bepaald niveau zakt. Dit signaal kan worden gebruikt om op de microprocessor een interrupt te genereren. 2 ms. later wordt een tweede signaal gegenereerd dat bijvoorbeeld voor Reset of Memory disable kan worden gebruikt. Blokschema en schema vindt u in resp. fig. 4/13.4-3 en in fig. 4/13.4-4.

Aan de ingang van D1 zal een hoog naar laag overgang ontstaan als U_e onder een gedefinieerd niveau zakt.
($U_{e\text{-}min}$ = 10,7V) Via de monostabiele flipflop D3 wordt een signaal gegenereerd met een vaste tijdsduur. Ook als Ue maar even onder de drempel zakt.
Na een tijdsvertraging, die wordt bepaald door R30/C15 wordt RES/MEN laag, zodat het geheugen en de processor worden gereset. Dit is van wezenlijk belang, wanneer de voeding van de CPU nog niet onderbroken is, maar de ingangsspanning van het netdeel na een korte dip weer boven de drempel stijgt. Dan wordt door de R31/C17 combinatie een restart verzekerd.
Aangezien de voedingsspanning van de Power-Fail-schakeling bij inschakeling eerder stabiel is als die van de processor en bij uitschakelen langer stabiel blijft, is het RES/MEN signaal vrij van spikes.

De schakelingen +5V én +15V/-15V zijn op twee aparte prints ondergebracht en door een koellichaam, waarop de in het schema met stippellijnen omgeven componenten zijn gemonteerd, met elkaar verbonden.

Onderdelenlijst +5V halfgeleiders

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
1	D2	SG 3524	Schakelend regel IC
1	D3	HEF 4528	Mono-flop
1	D4	CA 3140 E	Opamp
1	D5	CD 4093	Schmitt-trigger NAND
1	V5	1N4148	Si-diode
1	V6	ZPD 10	Si-Z-diode
1	V7	MC78L05 ACP	Spanningsregelaar
1	V8	ZPD 5,6	Si-Z-diode
1	V9	BST D 1040 S2	Thyristor
1	V10	BD242A	Transistor (TI)
1	V11	USD945	Si-gelijkrichter
1	V12	BD745B	Transistor (TI)
2	V13,14	2N3904	Transistor

Spoelen

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
1	L1	50 uH / 0,3A	10%
1	L2	160 uH	Talema s0-16/160/49/1k-M

Condensatoren

1	C3	330 pF / 500V	10%
1	C4	3,3 nF / 100V	
1	C5	22 uF / 40V	elco
1	C6	0,33 uF / 64V	
1	C7	1000 uF / 40V	elco
1	C8	22 nF / 100V	
1	C9	6,8 uF / 35V	
1	C10	0,1 uF / 64V	
1	C11	0,22 uF / 64V	
1	C12	330 pF / 500V	
2	C13,14	4700 nF / 16V	elco
1	C15	68 nF / 100V	
1	C16	47 nF / 100V	
1	C17	0,33 uF / 64V	
1	C18	470 pF / 400V	10%

Weerstanden

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
1	R7	100K / 0,1W	Alle weerstanden 5%
1	R8	22K / 0,1W	
1	R9	56K / 0,1W	behalve:
1	R10	47K / 0,1W	
1	R11	2K7 / 0,1W	
4	R12/16/17/18	5K11 / 0,25W	TK25 metaal 1%
1	R13	1K / 0,75W	pot, 10% 1in
1	R14	10K / 0,75W	pot, 10% 1in
1	R15	100K / 0,75W	
3	R19/38/39	47 Ohm / 0,5W	
1	R20	100 Ohm / 0,5W	
2	R21/32	10K / 0,1W	
3	R22/25/33	1K / 0,1W	
1	R23	50K / 0,75W	pot, 10% 1in
1	R24	82K5 / 0,25W	TK25 metaal 1%
3	R26/27/28	100K / 0,25W	TK25 metaal 1%
1	R29	1M / 0,1W	
1	R30	51K / 0,1W	
1	R31	330K / 0,1W	
1	R35	ORO 15/10W	Alu-huis (dale) 1%

Overige onderdelen

Koelplaten, zie fig. 4/13.4-12
Soldeerpennen
Siliconen folie
Krimpkous 1,5 x 0,25 (6 x)
Soldeerbusjes 12 x 2,8 DIN 42 835/2
Soldeerbusjes 12 x 6,3 DIN 42 833/1
Print

Onderdelenlijst 15V, halfgeleiders

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
4	G2	1N5810	Gelijkrichter
1	D10	SG3524J	Schakelend IC
2	D11/12	CD4049BE	CMOS hex inverter
1	V15	ZPY 9,1	Z-diode
2	V16/17	BUZ21	Power MOSFET

Spoelen

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
2	L5/L6	500 uH	Sp-smoorspoel, SD 2,5

Condensatoren

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
1	C20	22 nF / 100V	KF-KO
1	C21	3,3 nF / 100V	KF-KO
1	C22	2,2 uF / 35V	TA-KO
2	C23/24	100 nF / 50V	SB-KO
1	C25	4,7 uF / 16V	TA-KO
1	C26	4,7 nF / 100V	KF-KO
1	C27	1000 uF / 40V	EL-KO
2	C29/30	4700 uF / 16V	EL-KO
2	C31/32	100 uF / 30V	TA-KO
1	C33	1 nF / 200V	SB-KO

Weerstanden

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
1	R50	2K7 / 0,1W	Alle weerstanden 5%
1	R51	56K / 0,1W	
1	R52	22K / 0,1W	behalve:
3	R53/54/57	5K11 / 0,25W	metaalfilm 1% TK25
1	R55	47K / 0,1W	
1	R56	330 Ohm / 1W	
1	R58	22K1 / 0,25W	metaalfilm 1% TK25
2	R59/60	1K / 0,1W	
1	R61	10K / 0,75W	CT-pot 10%
1	R62	100 Ohm / 0,1W	

Overige onderdelen
Ferrit trafo (zie fig. 4/13.4-13)
Print
Dempingsparels
Montageplaat

Onderdelenlijst van de Power-Fail schakeling

Aantal	Positie	Type	Omschrijving
1	V1	2N1710	NPN-transistor
1	V2	2N2905	PNP-transistor
2	V3/4	1N4148	diodes
1	D1	TBA221B	opamp
2	C1/2	47 nF / 100V	KF-KO
2	R1/2	68 Ohm / 5W	weerstand 5%
1	R3	27K / 0,1W	weerstand 5%
1	R4	680 Ohm / 0,1W	weerstand 5%
2	R5/6	10K / 0,25W	metaalfilm 1%

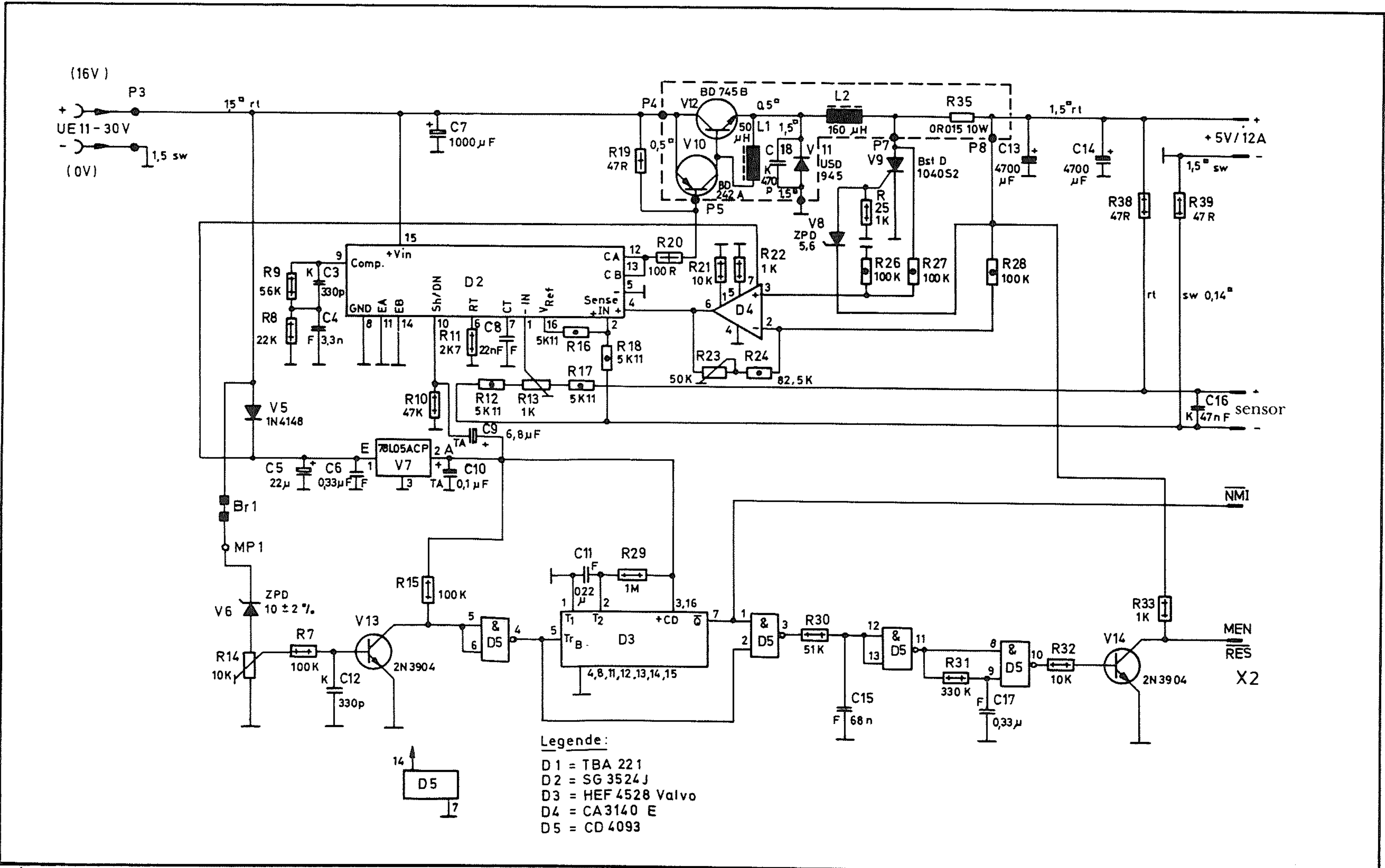


Fig. 4/13.4-4: Schema +5V en Power-Fail-schakeling

13.4 Geschakelde DC/DC

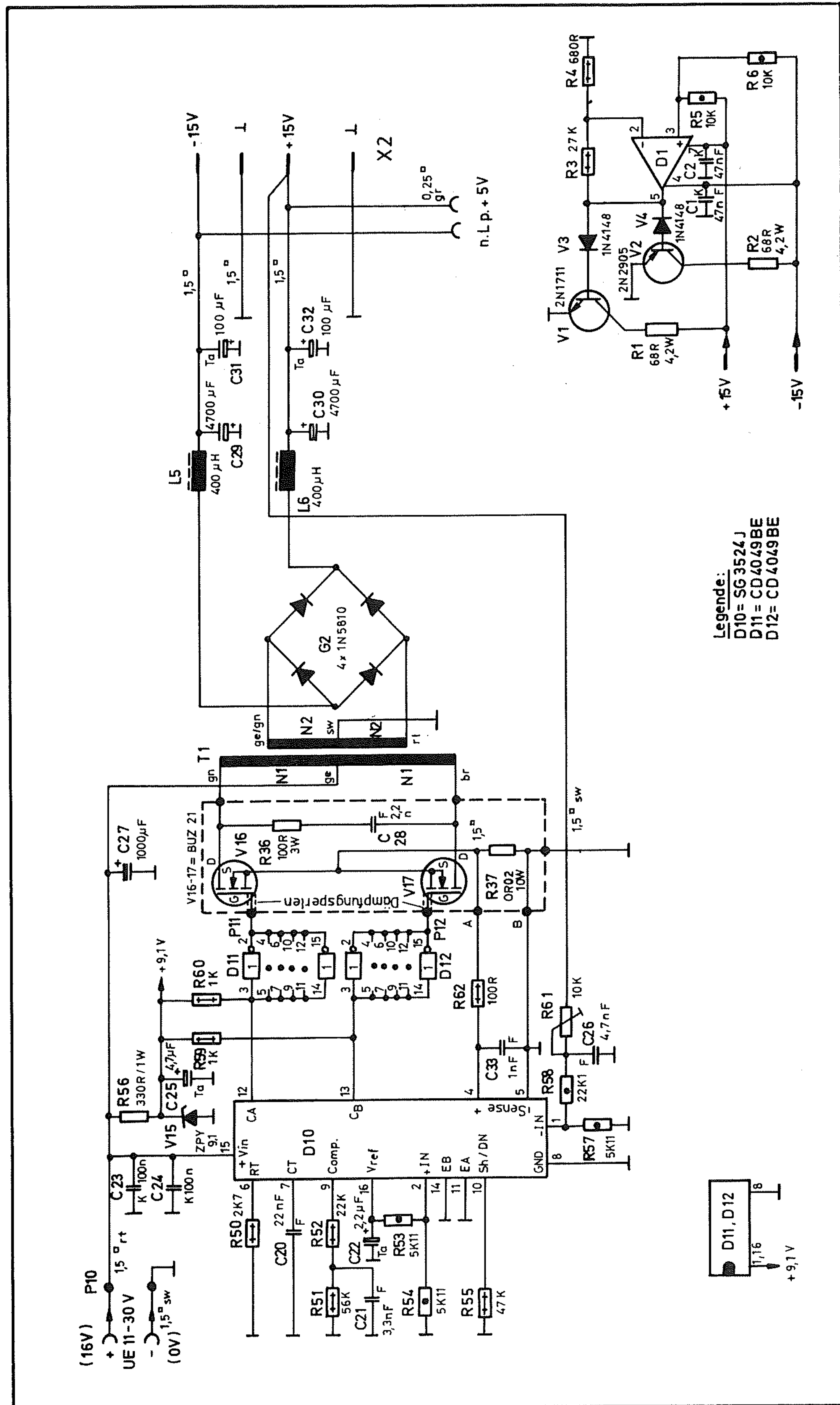


Fig. 4/13.4-5: Schema +15V

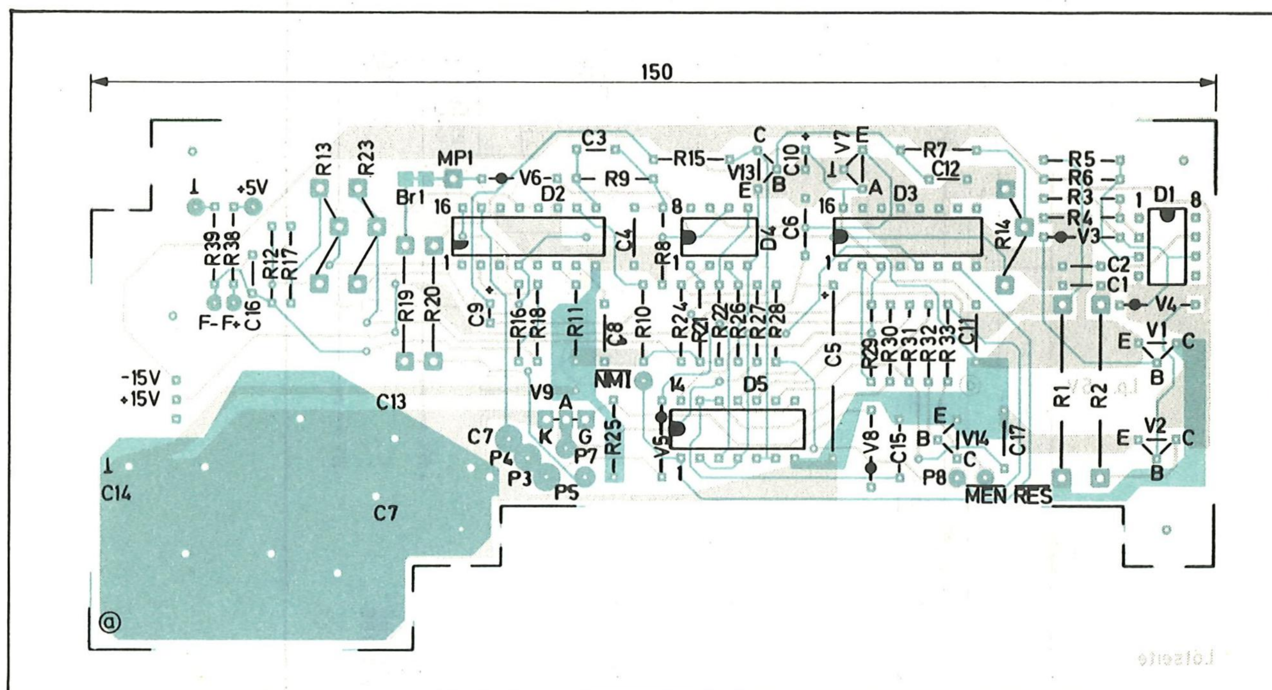


Fig. 4/13.4-6: Onderdelen plattegrond 5-V-print

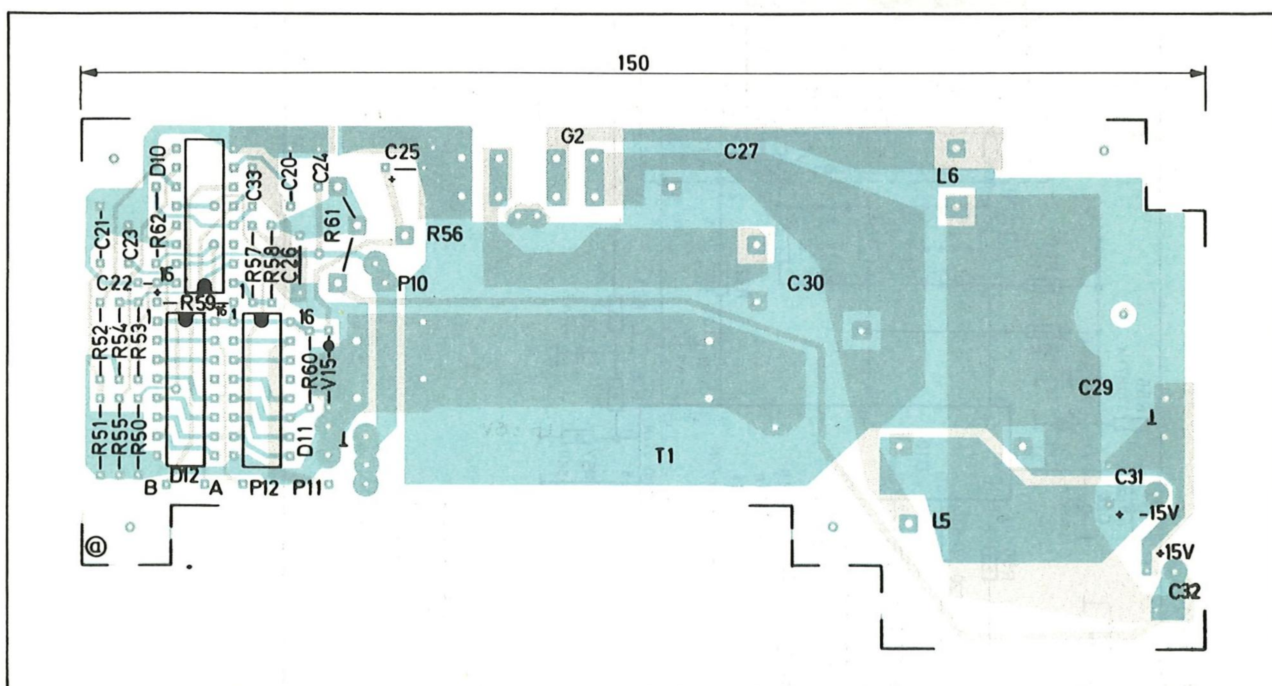


Fig. 4/13.4-6: Onderdelen plattegrond 15-V-print

13.4 Geschakelde DC/DC

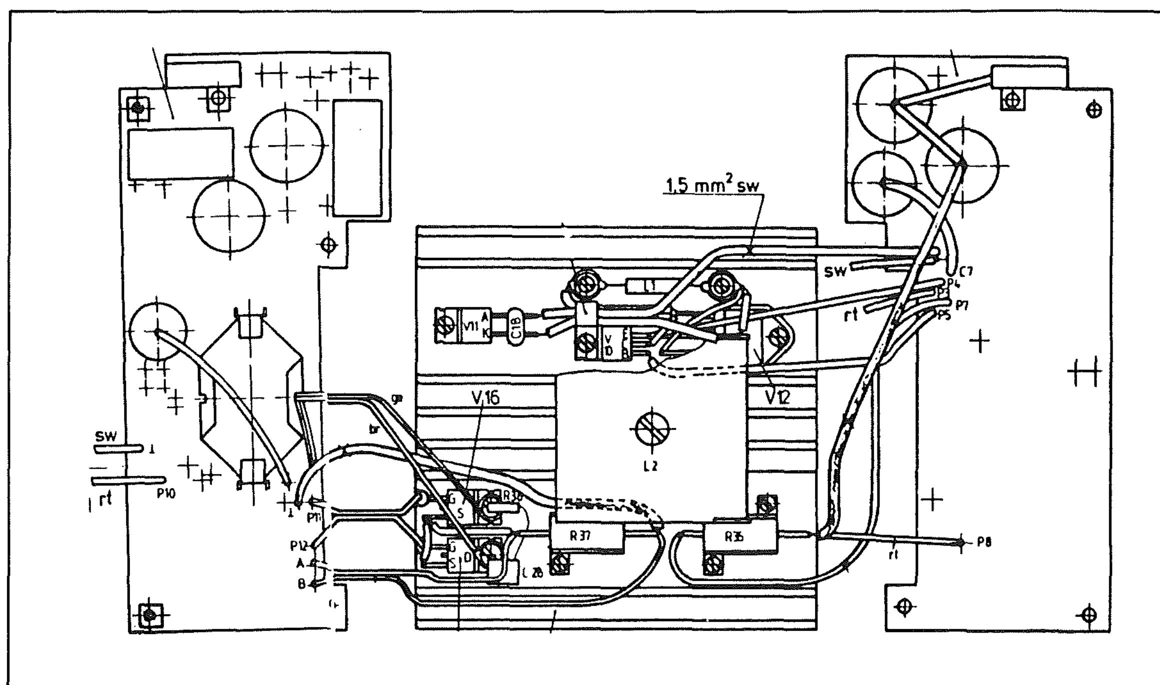


Fig. 4/13.4-12: Overzicht van de gehele voeding met de koelplaten in het midden

wikkeling	aantal windingen	draad	kleur	spanning	zelfin - ductie	laag-isolatie	wikkeling-isolatie	opmerkingen
I	2×10	90 × 0,1						bifilair
II	2 × 25	60 × 0,1						bifilair

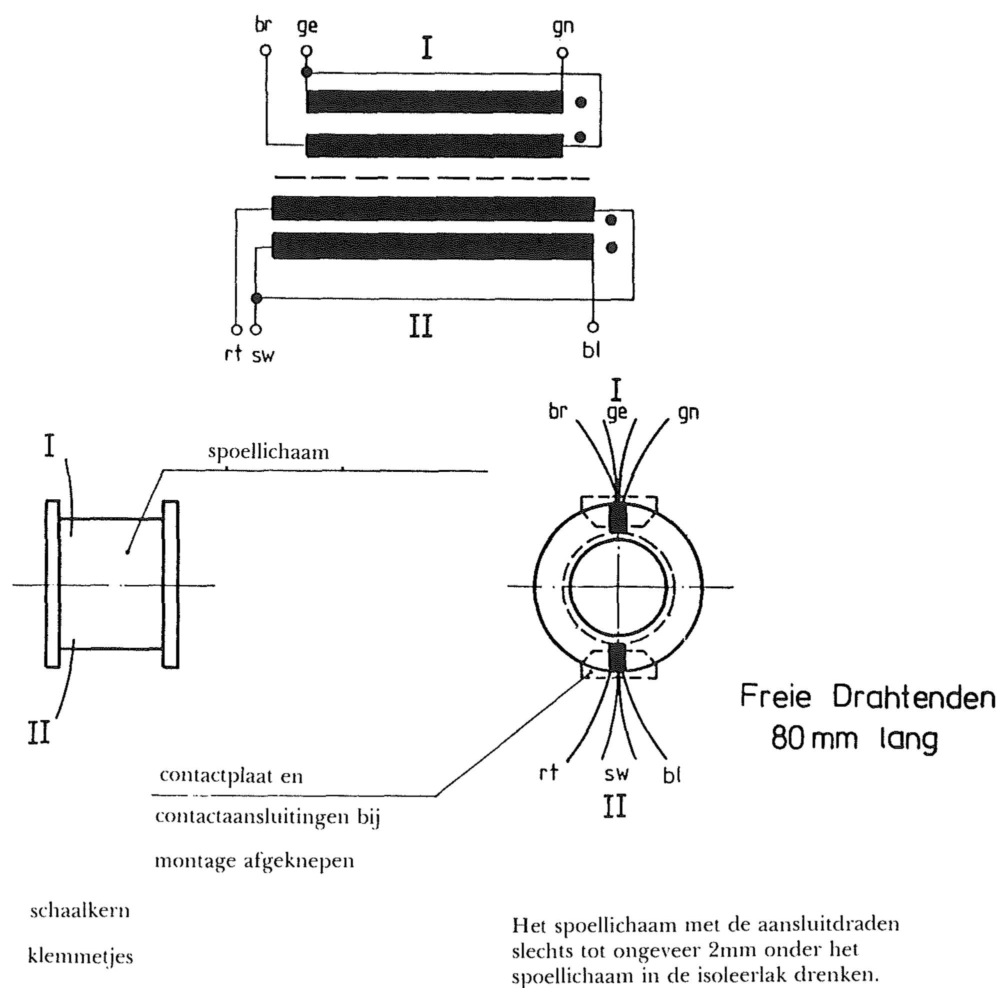


Fig. 4/13.4-13: De ringkern-trafo

13.4 Geschakelde DC/DC

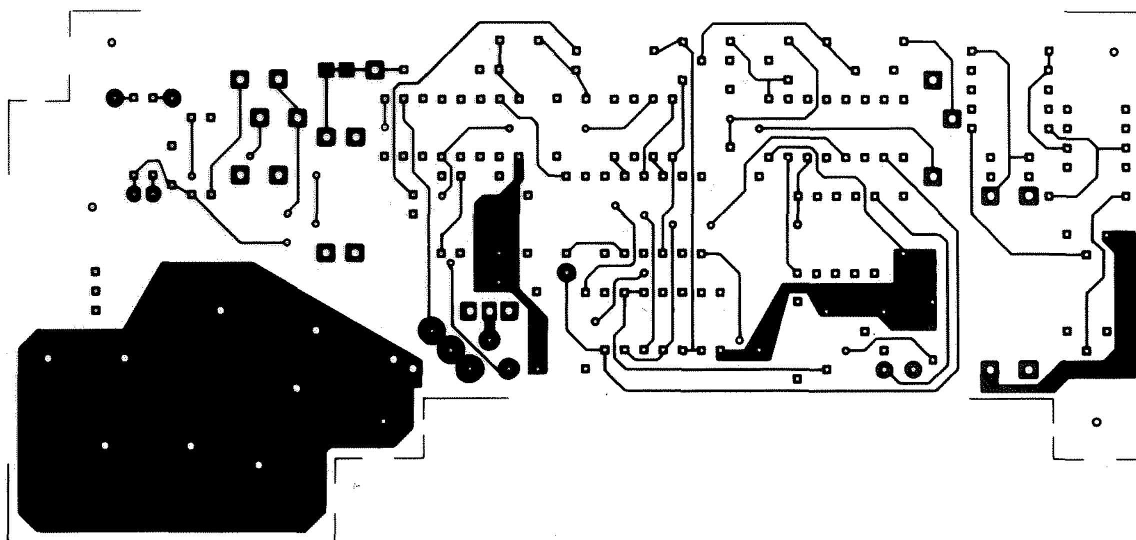


Fig. 4/13.4-8: Componentenzijde 5-V-print.

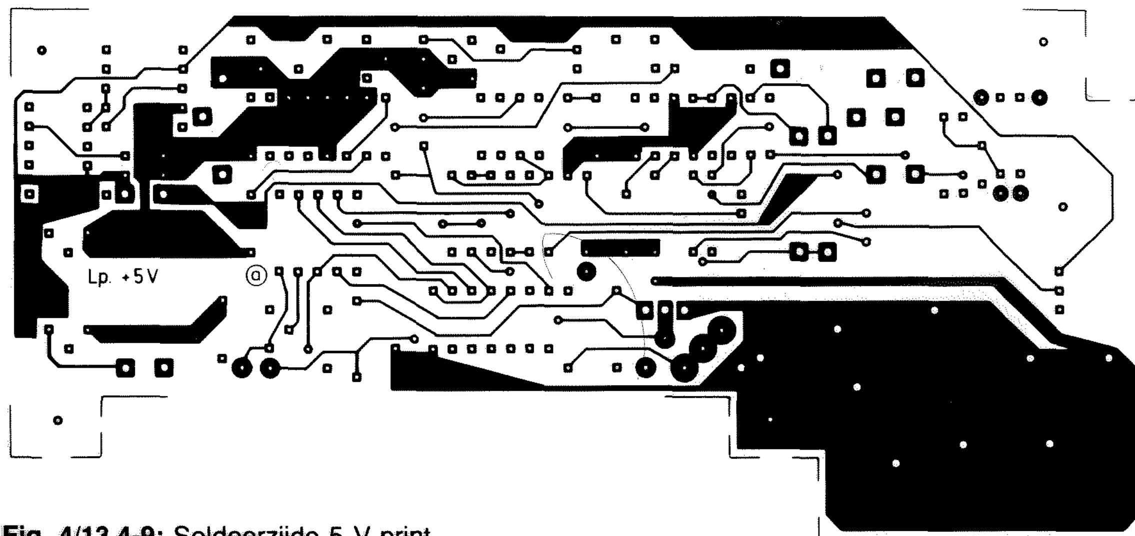


Fig. 4/13.4-9: Soldeerzijde 5-V-print.

13.4 Geschakelde DC/DC

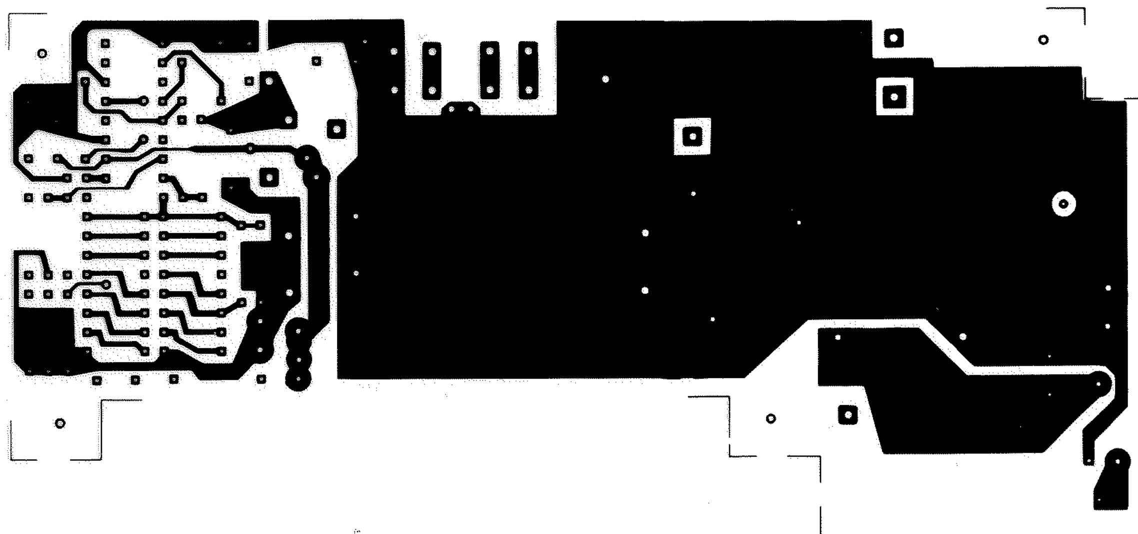


Fig. 4/13.4-10: Componentenzijde 15-V-print.

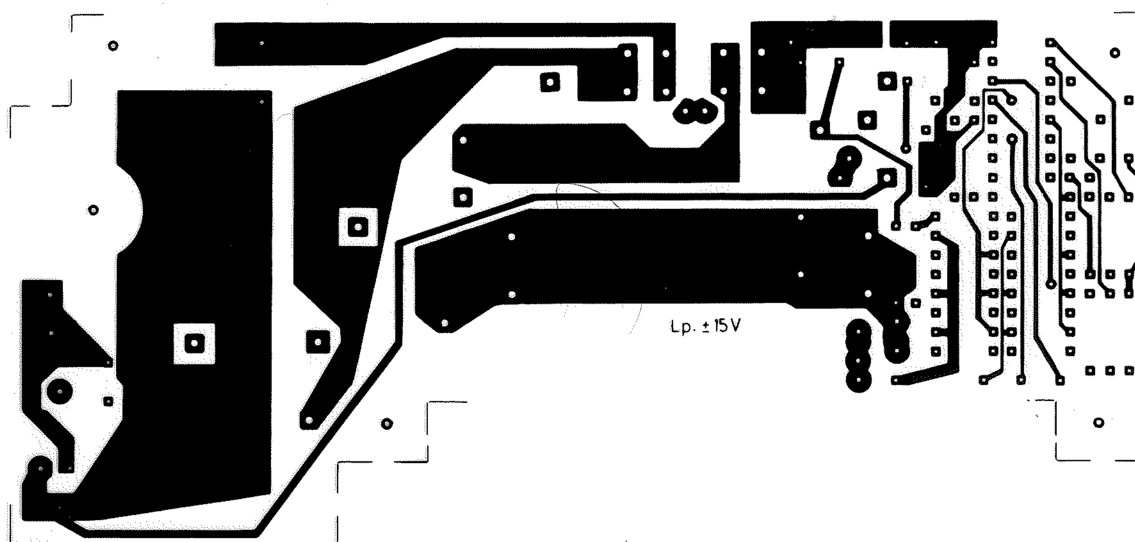


Fig. 4/13.4-11: Soldeerzijde 15-V-print.

4/13.5
Een 0 tot 60 V voeding

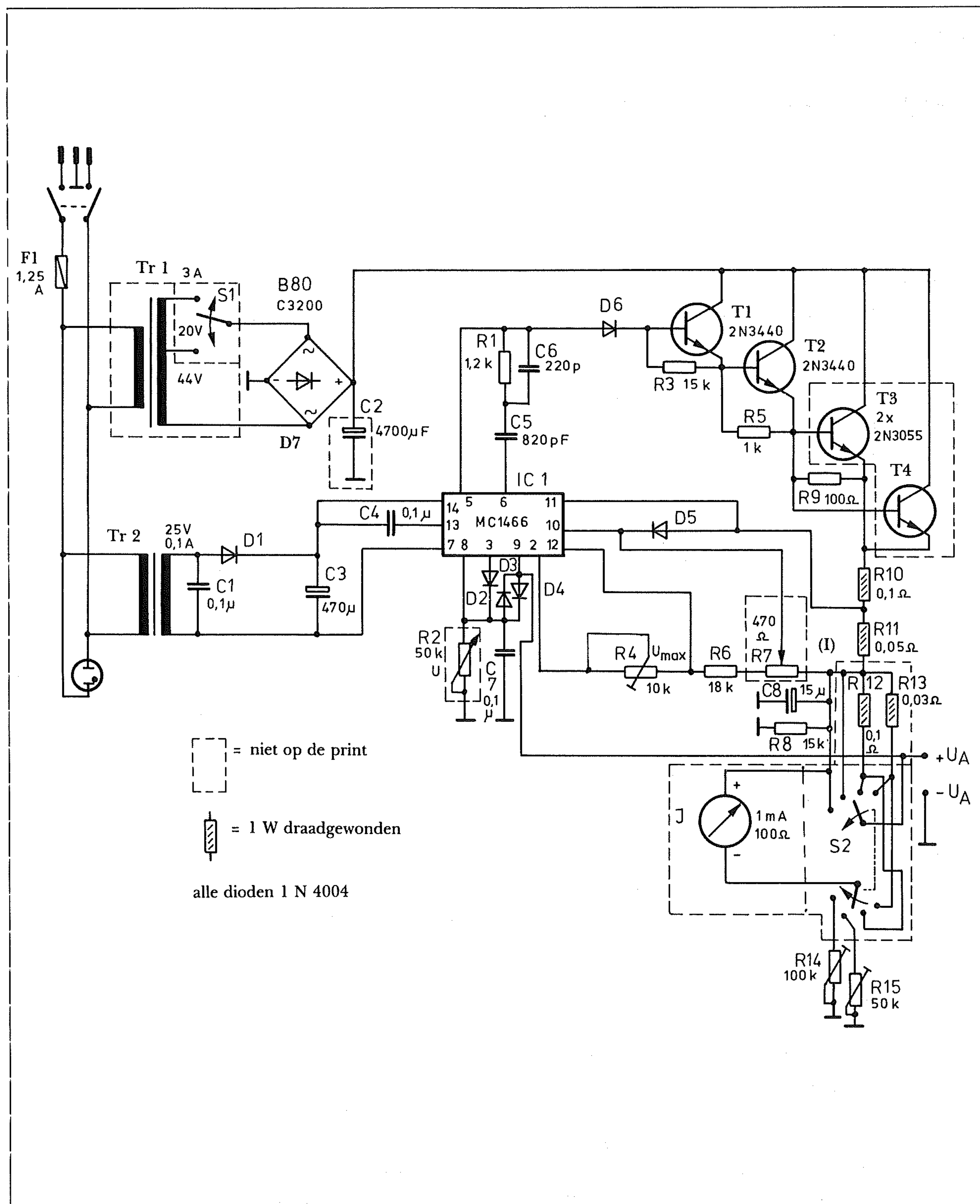
De meeste goedkope voedings-apparaten gaan niet verder in spanning dan 2 x 20 V. Ideaal voor 90 % van de experimenten, maar niet in staat hoogvermogende eindversterkers van spanning te voorzien. Toch is dit nu net een van de zeldzame gebieden waar iedere elektronica doe-het-zelver actief is. Wat is er immers leuker dan zelf goede eindversterkers te bouwen of misschien zelfs te ontwerpen?
Een voeding die in staat is de noodzakelijke 50 à 60 V gelijkspanning op te wekken is dan de eerste vereiste. Deze apparatuur wordt natuurlijk wel verkocht, maar is peperduur. Zelf bouwen dus, aan de hand van het in dit hoofdstuk beschreven schema.
Dit ontwerp geeft een voeding met een uitgangsspanning die regelbaar is tussen 0 en 60 V en met een maximale stroomcapaciteit van 3 A. Natuurlijk kan men de maximale stroom door middel van een potentiometer instellen en is de schakeling kortsluitvast.

Het schema
Het schema van de voeding is getekend in figuur 4/13.5-1. Hart van de schakeling is een geïntegreerde spanningsregelaar van het type MC 1466. Dit IC wordt door Motorola gefabriceerd en is een zogenoemde „floating-regelaar": de spanning wordt door de in serie met het IC opgenomen transistoren begrensd. Het regelbereik van dit IC loopt van 0 tot 250 V (!), de daarvoor noodzakelijke hulpspanning moet tussen 21 en 30 V liggen. Het IC is ondergebracht in een keramische 14-polige DIL-behuizing.

Nu naar het schema
De secundaire spanning van de hoofdtrafo Tr1 is omschakelbaar tussen 20 en 44 V, zodat er bij het instellen van een lage uitgangsspanning minder vermogen door de regel-transistoren moet worden gedissipeerd. Na gelijkrichting door een bruggelijkrichter D7 en afvlakking door de elko C2 wordt de ongestabiliseerde spanning aangeboden aan de collectoren van de regeltransistoren. Zoals uit de tekening blijkt zijn deze als super-darlington geschakeld. T1 en T2 vormen de eerste darlington, de emitter van T2 stuurt de basissen van de parallel geschakelde vermogenstransistoren T3 en T4.

De voedingsspanning voor het IC wordt verzorgd door een afzonderlijke transformator Tr2. De secundaire spanning van 25 V wordt met één diode gelijkgericht, zodat de spanning over de condensator C3 ook ongeveer 25 V bedraagt. Het IC levert een constante stroom van 1 mA uit pen 8 naar de massa (of een andere referentie). De weerstand tussen deze aansluiting en de massa (of de andere referentie) bepaalt de uitgangsspanning van de voeding.
Let er tussen haakjes, op dat de voeding

13.5 Een 0 tot 60 V voeding



Figuur 4/13.5-1:
Het volledige schema van de voeding

van het IC zwevend is (geen enkele punt van de schakeling rond transformator Tr2 is met de massa verbonden) en dat dit absolute voorwaarde is om de schakeling goed te laten werken! De voedingspennen van het IC (14, 13 en 7) mogen niet met de massa verbonden worden!

Zoals gebruikelijk wordt de door de voeding geleverde stroom gemeten door een kleine stroomsensor-weerstand in serie met de belasting op te nemen. In dit geval komt deze eer aan R11 toe, een draadgewonden weerstand van 0,05 Ohm, 1 W. De spanning over deze zeer kleine weerstand wordt aan het IC aangeboden, de loper van R7 stelt de maximale stroom in

Het apparaat is uitgerust met een meterschakeling met vier bereiken:
- stand 1: 0 tot 30 V;
- stand 2: 0 tot 60 V;
- stand 3: 0 tot 1 A;
- stand 4: 0 tot 3 A.

Er wordt gebruik gemaakt van een 1 mA meetinstrument met een inwendige weerstand van 100 Ohm. De stroom-shunts zijn vaste weerstanden van respectievelijk 0,1 en 0,03 Ohm (draadgewonden), de voorschakelweerstanden voor de spanningsbereiken zijn uitgevoerd als trimmers: R14 en R15.

Tussen de uitgang van de voeding en de massa staan twee parallel geschakelde onderdelen: weerstand R8 en condensator C8. Deze zijn zeer belangrijk en onderdrukken oscilleer-neigingen die, als zij vrij spel hadden, het IC zouden kunnen vernielen.

De bouw van de schakeling

Men kan de volledige voeding, op de in gestippelde kaders opgenomen onderdelen na, opbouwen op de print van figuur 4/13.5-2, aan de hand van de bestukking van figuur 4/13.5-3. De bouw is niet kritisch, men moet wel alle externe componenten waardoor de hoofdstroom vloeit met zeer dikke draadjes aan de print vastsolderen. Het zal duidelijk zijn dat de twee vermogenstransistoren flink gekoeld moeten worden: hoe groter het koellichaam, hoe beter!

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W

R 1 = 1,2 k-Ohm
R 3 = 15 k-Ohm
R 5 = 1 k-Ohm
R 6 = 18 k-Ohm
R 8 = 15 k-Ohm
R 9 = 100 Ohm

Weerstanden, draadgewonden, 1 W

R 10 = 0,1 Ohm
R 11 = 0,05 Ohm
R 12 = 0,1 Ohm
R 13 = 0,03 Ohm

Potentiometers

R 2 = 50 k-Ohm, logaritmisch
R 4 = 10 k-Ohm, trimmer
R 7 = 470 Ohm, logaritmisch
R 14 = 100 k-Ohm, trimmer
R 15 = 50 k-Ohm, trimmer

Condensatoren

C 1 = 100 nF, MKH
C 2 = 4700 μF, 63 V elko
C 3 = 470 μF, 63 V elko
C 4 = 100 nF, MKH
C 5 = 820 pF, keramisch
C 6 = 220 pF, keramisch
C 7 = 100 nF, MKH
C 8 = 15 μF, 63 V elko

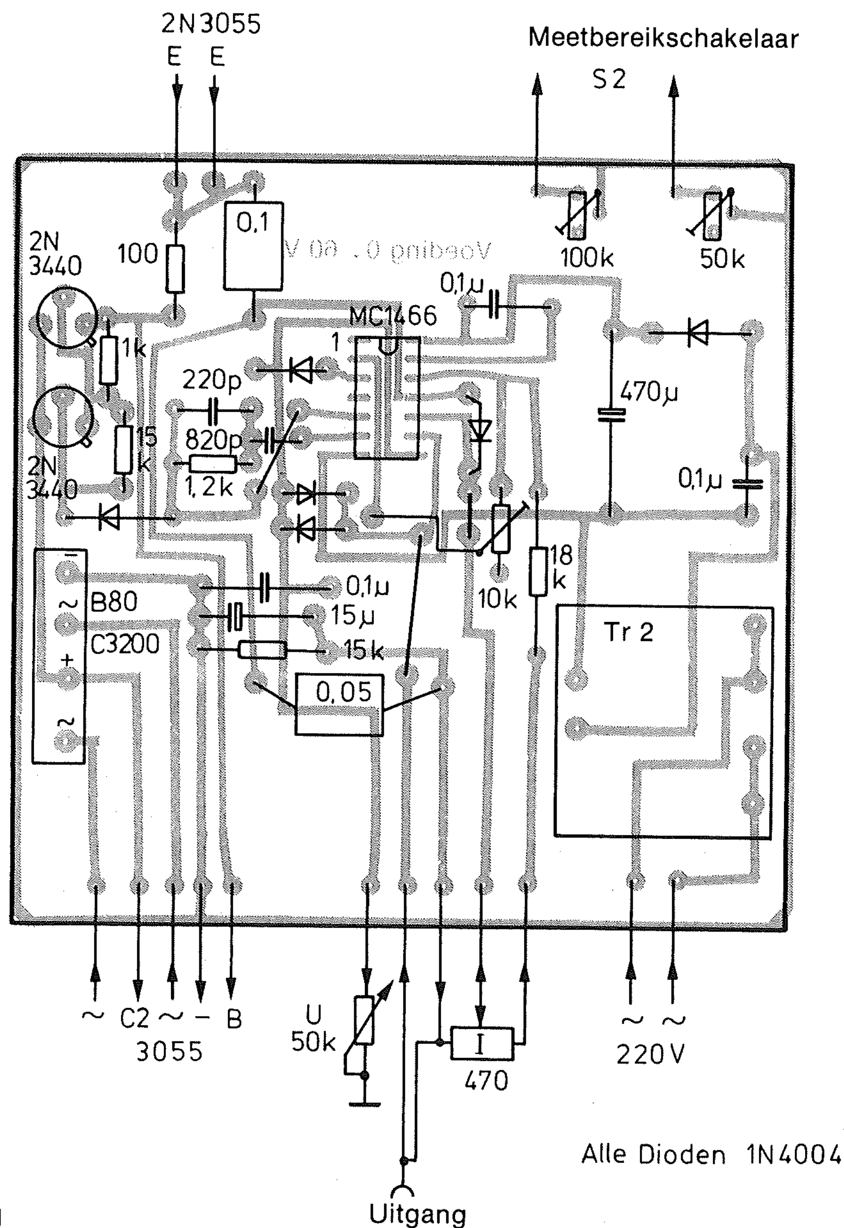
Halfgeleiders

D 1 = 1 N 4004
D 2 = 1 N 4004
D 3 = 1 N 4004
D 4 = 1 N 4004

D 5 = 1 N 4004
D 6 = 1 N 4004
D 7 = B 80 C 3200
T 1 = 2 N 3440
T 2 = 2 N 3440
T 3 = 2 N 3055
T 4 = 2 N 3055

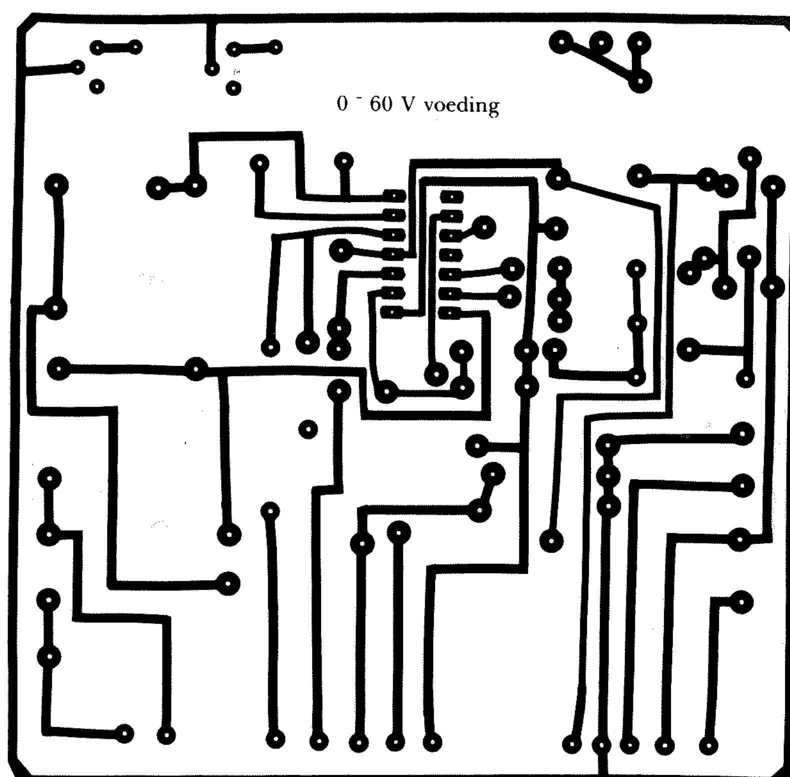
Diversen
Tr 1 = 20/44 V - 3A trafo
Tr 2 = 25 V - 100 mA trafo
S 1 = enkelpolige omschakelaar, 3 A
S 2 = 2 x 4 standen draaischakelaar
M 1 = 1 mA - 100 Ohm draaispoelmeter
F 1 = 1,25 A zekering

Geïntegreerde schakelingen
IC 1 = MC 1466 (Motorola)



Figuur 4/13.5-3:
Bestukkingstekening

13.5 Een 0 tot 60 V voeding



Figuur 4/13.5-2:
Print lay-out

4/13.6 Een kleine laboratorium voeding

De hier beschreven voeding voor het hobby-lab is eenvoudig te maken, maar heeft toch goede specificaties. Zie hier:

Uitgangsspannings bereik:	0 tot 15 Volt, regelbaar
Stroom:	0 tot 3A, regelbare begrenzing
Onbelaste restbrom bij 10V:	0,3mV piek
Brom bij I-uit = 2A:	0,5mV piek
Uitgangsspanningsverandering bij belastingsverandering van 0 tot 2A:	10mV

De voeding wordt in delen besproken: de spanningsregeling en de stroombegrenzing.

De spanningsregeling
Om een spanning te kunnen regelen is het noodzakelijk een zeer stabiele en nauwkeurige referentiespanning te hebben. De referentiespanning wordt in deze voeding verkregen uit opamp A3 en de daarbij behorende componenten. De uitgangsspanning van A3 zorgt voor een stroom door D7 en R6. D7 zorgt voor een spanningsval van ca. 3,3V. Aangezien opamps als eigenschap hebben het spanningsverschil tussen de positieve en de negatieve ingang zo klein mogelijk te houden, moet de spanning over R7 gelijk zijn aan de spanning over D7. Dat betekent, dat de spanning op de bovenkant van P3 gelijk is aan de spanning op de bovenkant van R6. Het gevolg is dat de spanning op de potentiometer zeer constant is, aangezien de opamp elke afwijking zal compenseren. De gewenste uitgangsspanning wordt verkregen door via de loper van P3 een deel van de referentiespanning toe te voeren aan de niet inverterende ingang van A4. De uitgang van A4 regelt de basisspanning van T1 zo, dat via de emittor-volgers T1 en T2 en de spanningsdeler P4 en R9 de spanning die via de loper van P4 op de inverterende ingang van A4 wordt aangeboden, gelijk is aan de referentiespanning op de niet-inverterende ingang. De dimen-

sionering van de onderdelen is zodanig gekozen, dat aan de uitgang van de voeding met behulp van P4 de maximale uitgangsspanning op 15V kan worden afgeregeld. Bij deze afregeling moet P3 tegen de bovenste aanslag staan (naar R7). A4 zal onafhankelijk van de belasting de uitgangsspanning constant trachten te houden. De condensatoren C3 en C4 dienen om oscilaties van het regelcircuit te voorkomen.

De stroomregeling
De stroom door de zenerdiode D6 en R1 zorgt ervoor, dat over de zenerdiode D6 een constante spanning van ca. 3,9V staat. Met behulp van instelpot P2 wordt de spanning op de bovenkant van P1 afgeregeld op 3V. Met behulp van P1 kan de spanning op de niet-inverterende ingang van A1 worden geregeld tussen 0V en 3V. De stroom die door de uitgang loopt, zal ook door R10 lopen en over R10 een spanningsval veroorzaken. Bij een stroom van 3A zal deze spanningsval 3V bedragen. (R10=1 Ohm). Deze spanning wordt toegevoerd aan de inverterende ingang van A1. We kunnen nu twee condities onderscheiden:
1) De spanning over R10 is kleiner dan de spanning op de loper van P1. In dit geval is de uitgangsspanning van A1 nagenoeg gelijk aan +U en diode D1 zal sperren. De uitgangsspanning van de voeding wordt nu uitsluitend geregeld door A4. De uitgangsspanning van A1 is ook groter dan de spanning op de niet-inverterende ingang van A2. Deze spanning is namelijk via de spanningsdeler R2/R3 op ⅛ x (+U) ingesteld. C2 zorgt daarbij voor onderdrukking van de brom. Dit heeft tot gevolg, dat de uitgangsspanning van A2 op bijna +U zal liggen. D9 zal oplichten, waarmee wordt aangegeven, dat de voeding als constante spanningsbron werkt.
2) De spanning over R10 is groter dan de spanning op de loper van P1. De uitgangsspanning van A1 zal nu dalen. D1 komt in geleiding als de spanning op de uitgang van A1 meer dan de voorwaartse spanningsval van D1 onder de basisspanning van T1 zakt. A1 neemt de sturing van T1 nu over, omdat A4 via zijn regelcircuit zal trachten de uitgangsspanning omhoog te krijgen. De uitgang van A4 zal dan ook op bijna +U terecht komen. A1 zal de uitgang nu zo regelen, dat de spanning over R10 gelijk wordt aan de ingestelde spanning op de loper van P1. Aangezien de spanning over R10 afhankelijk is van de uitgangsstroom is hiermee bereikt, dat A1 de uitgangsstroom constant houdt op de (met P1) ingestelde begrenzing. De voeding gedraagt zich nu als een constante stroombron. De spanning op de niet-inverterende ingang van A2 zal nu lager zijn dan de spanning op de inverterende ingang, waardoor de uitgang van A2 op ca. -5V zal komen. D8 licht op, terwijl D9 dooft, waardoor de omschakeling van spanningsbron naar stroombron ook visueel is vast te stellen.

De voor de voeding noodzakelijke ingangsspanningen komen van de transformatoren Tr1 en Tr2. IC3 zorgt voor de noodzakelijke negatieve voe-

ding van de opamps (-5V). Deze negatieve spanning is nodig om de voeding echt tot 0V regelbaar te maken.

Een paar bouwtips
Alle onderdelen, behalve de transformatoren, de netschakelaar en de zekering worden op de print (100 x 160 mm) gemonteerd. Let op de polariteit van elco's, diodes en transistoren, alsook van de IC's. Transistor T2 wordt gemonteerd op een koelplaatje dat ca. 2K/W koeling geeft. Onder T2 een mica isolatieplaatje aanbrengen. De verbindingen met de print moeten worden gemaakt met dik draad. Er moet 3A doorheen kunnen! De trafo's moeten zo dicht mogelijk bij de print worden gemonteerd en de aansluitdraden moeten kort gehouden worden.

Monteer de dioden D8 en D9 direct onder de Ampere- resp. Voltmeter. Monteer potentiometer P3 onder de Voltmeter en P1 onder de Amperemeter. De loper van P3 moet met afgeschermde kabel verbonden worden met A4. Houdt de verbindingen kort! Als uitgangsaansluiting kan men het best een paar goede instrument-bussen kopen, waarin men zowel banaanstekers kan steken, alsook losse draad onderklemmen. Monteer C5 direct over de aansluitbussen. Deze condensator dient om hoogfrequentstoringen van de te voeden (test-)objecten te onderdrukken.

Afregeling
Na een laatste visuele controle kan de voeding worden ingeschakeld. Potentiometer P3 (spanningsregeling) wordt naar de rechter aanslag gedraaid en met P4 wordt de uitgangsspanning op 15V afgeregeld. Als men nu P3 naar de linker aanslag draait moet dit resulteren in 0V op de uitgang.
Draai P1 en P2 naar de linker aanslag. Sluit de uitgang kort. Nu P3 een klein eindje naar rechts draaien. Met P2 een stroom van 3A instellen. Daarmee is de afregeling compleet en hebt u de beschikking over een praktische laboratoriumvoeding.

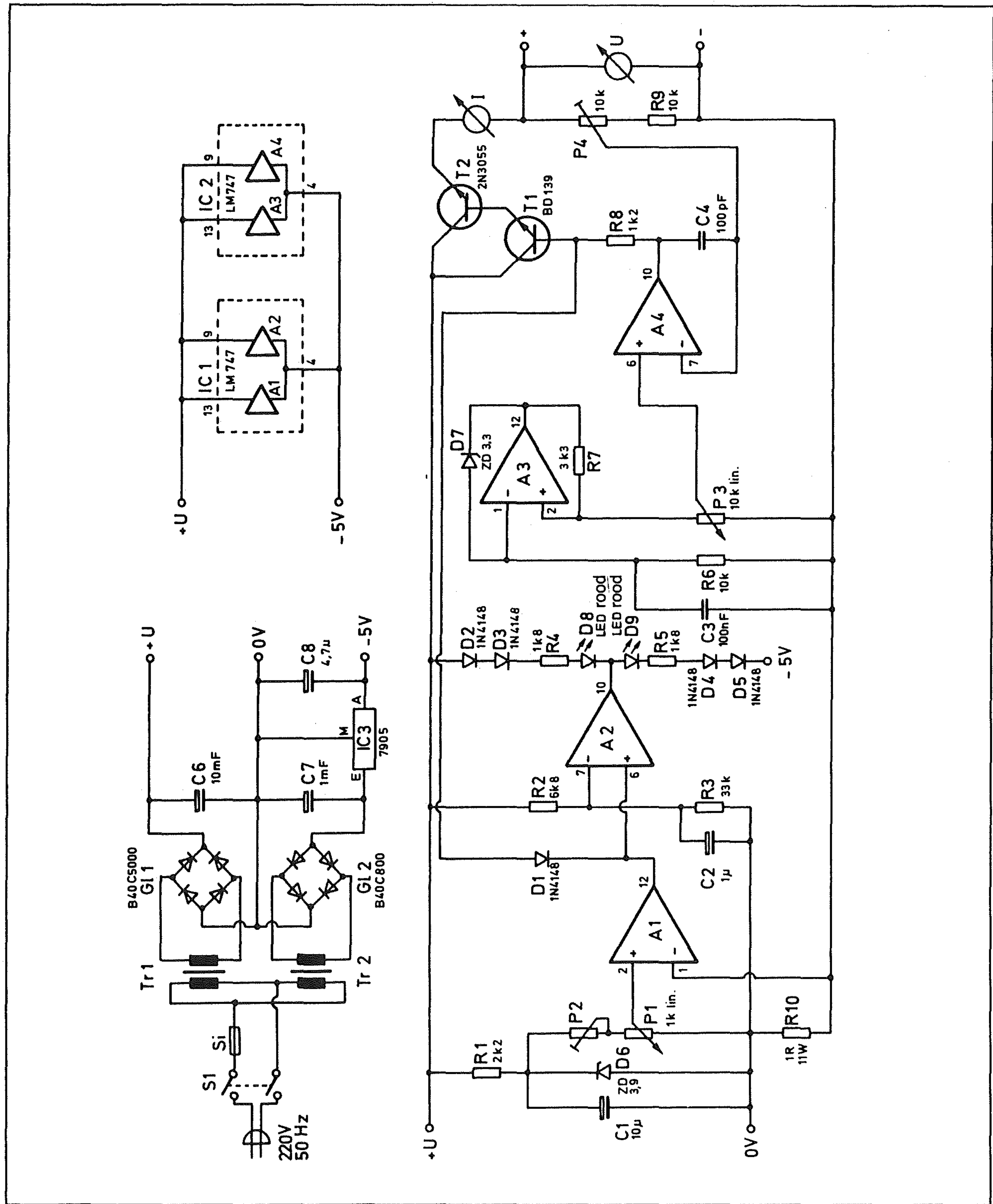
Verdere tips en opmerkingen
Elke behuizing, die groot genoeg is om de print en de trafo's te herbergen en daarbij voldoende frontruimte biedt voor de paneelmeters, is in principe geschikt. De behuizing moet echter voldoende mogelijkheden bieden voor warmte-afvoer en (zeker op de plaats van de aansluitbussen) voldoende stevig zijn. Het prototype van deze voeding werd dubbel gebouwd en in een behuizing ondergebracht. Daarmee werd een universele voeding verkregen. Door serieschakelen van de voedingen kan een 0 tot 30V voeding voor 3A worden gerealiseerd. Parallelschakelen levert 0 tot 15V en 6A op. Als men een plus- en een min-uitgang doorverbindt levert dit een +/-15V, 3A voeding op, zodat ook opamps die een positieve en een negatieve voeding nodig hebben, uit deze voeding konden worden gevoed.

Onderdelen:

Positie	Omschrijving en type	Aantal	Opmerkingen
IC1,IC2	Dual opamp LM747	2	
IC3	spann. reg. 7905	1	
Gl1	brugcel B40C5000	1	
Gl2	brugcel B40C800	1	
T1	BD139 of equivalent	1	
T2	2N3055 of equivalent	1	
D1-D5	1N4148 dioden	5	
D6	Zener 3,9V 0,5W	1	
D7	Zener 3,3V 0,5W	1	
D8,D9	LED rood 5mm	2	
R1	2k2 0,5W 5%	1	
R2	6k8 0,5W 5%	1	
R3	33k 0,5W 5%	1	
R4,R5	1k8 0,5W 5%	2	
R6	10k 0,5W 5%	1	
R7	3k3 0,5W 5%	1	
R8	1k2 0,5W 5%	1	
R9	10k 0,5W 5%	1	
R10	1 Ohm 11W 5% draadgewonden	1	
P1	potmeter 1k lin	1	
P2	trimpot 500 Ohm	1	
P3	potmeter 10 lin	1	
P4	trimpot 10k	1	
C1	10 uF 16V elco	1	radiaal
C2	1 uF 64V elco	1	axiaal
C3	100 nF	1	
C4	100 pF	1	
C5	10 uF 25V elco	1	axiaal
C6	10000 uF 35V elco	1	axiaal
C7	1000 uF 16V elco	1	radiaal
C8	4,7 uF 16V elco	1	radiaal
Tr1	Trafo 18V 3A	1	
Tr2	Trafo 6V 500 mA	1	
S1	Netschakelaar	1	dubbel-polig
Si	Zekering 1A	1	
-	IC-voetjes 14-pens	2	
-	Inbouw zekeringhouder	1	
-	T03 micawasher	1	
-	Aansluitklemmen	2	
-	koelplaatje	1	
-	amperemeter 3A	1	
-	voltmeter 15 of 30V	1	
-	knoppen	2	
-	soldeerpennen	15	

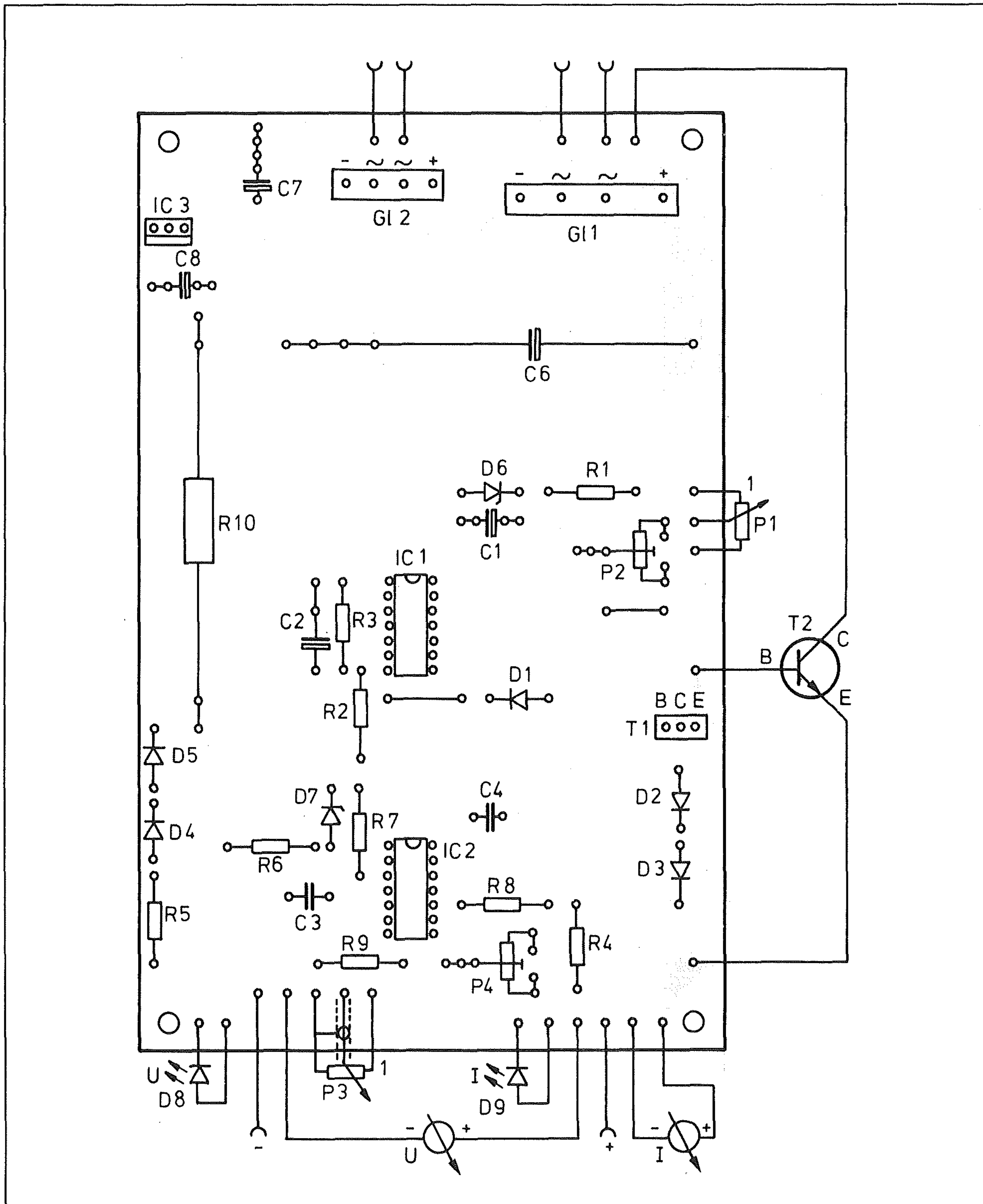
Verder nog een behuizing en diverse montage materialen.

13.6 Een kleine laboratorium voeding



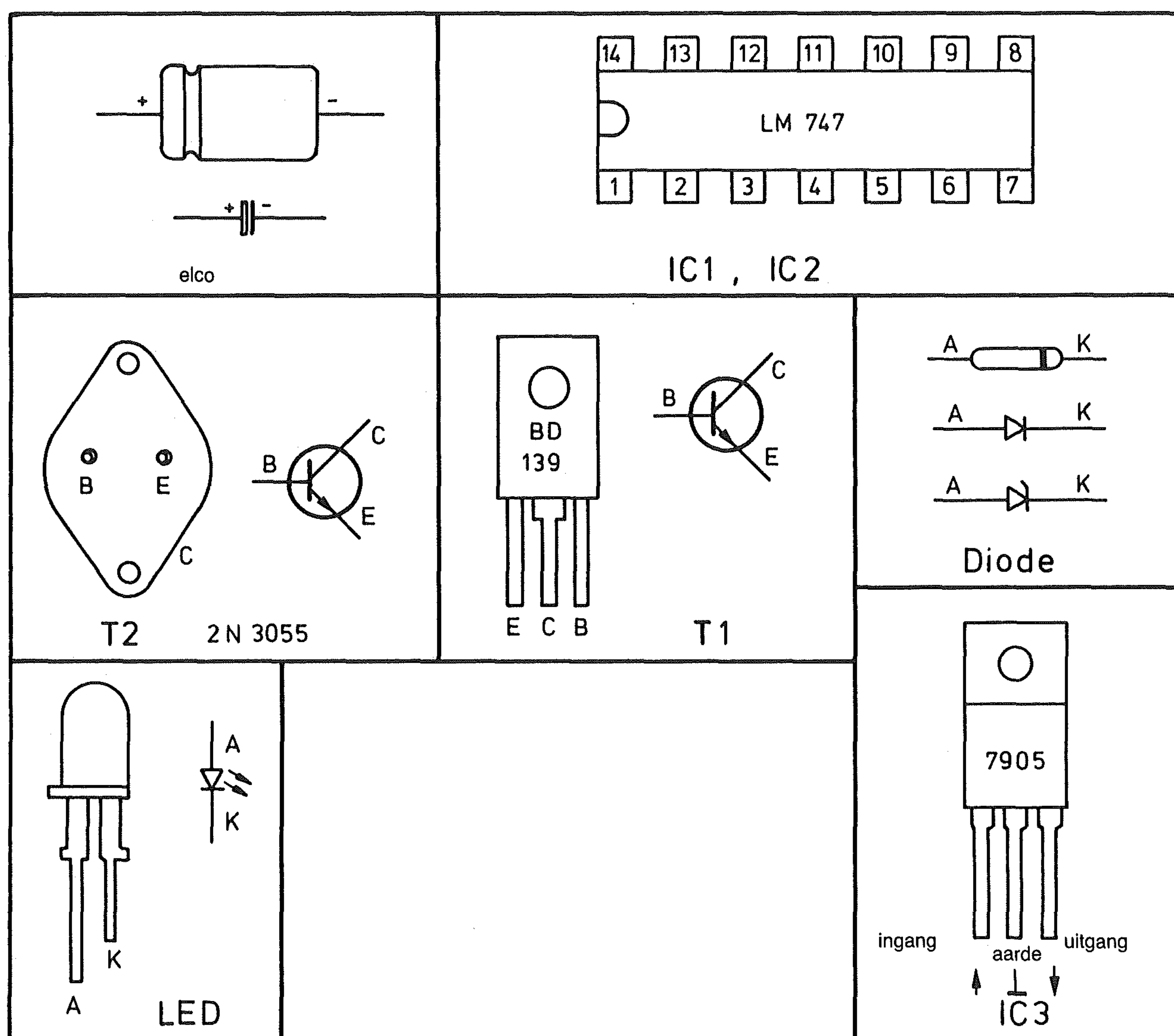
Figuur 4/13.6-1: Het schema

13.6 Een kleine laboratorium voeding



Figuur 4/13.6-3: Onderdelen-plattegrond

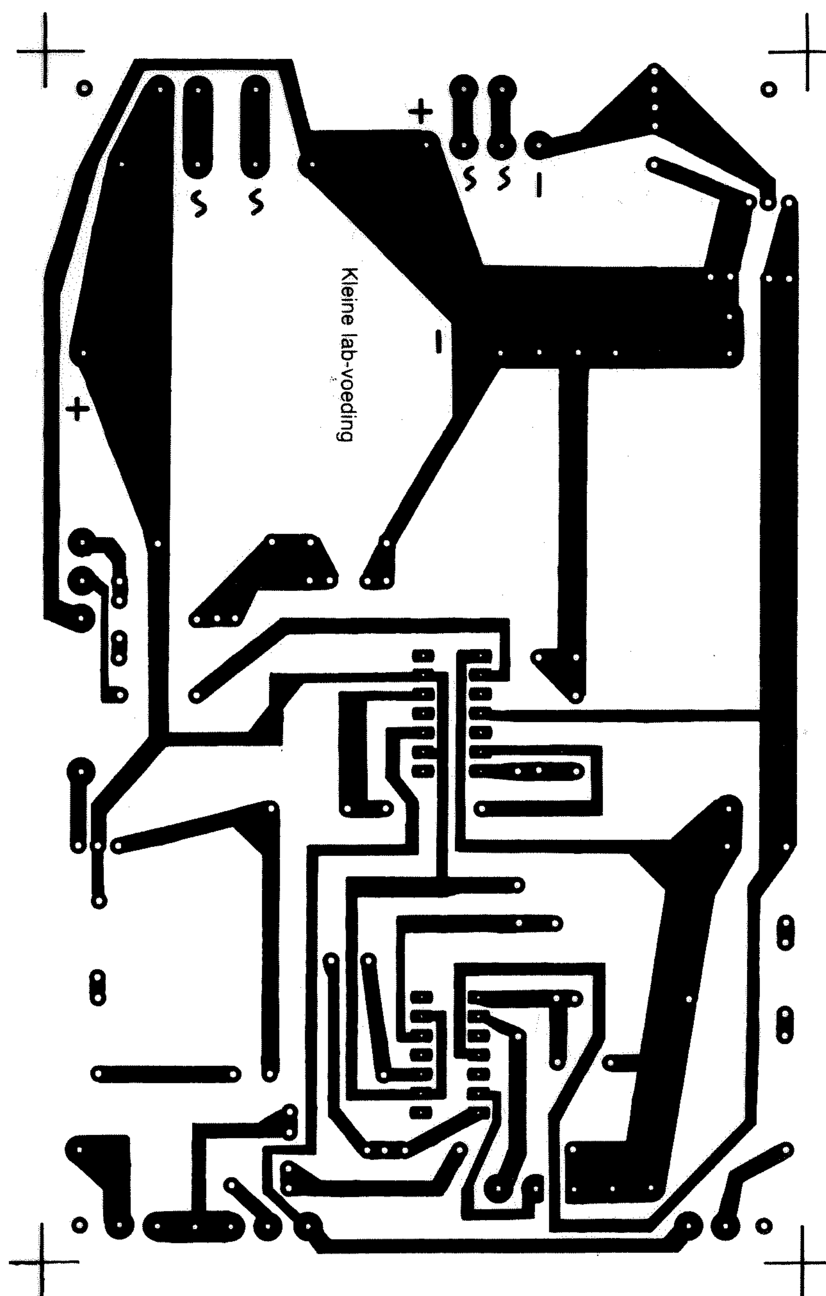
13.6 Een kleine laboratorium voeding



Figuur 4/13.6-4: Aansluitingen van de onderdelen

13.6 Een kleine laboratorium voeding

13.6 Een kleine laboratorium voeding



Figuur 4/13.6-2: Print lay-out (soldeerzijde)

4/13.9

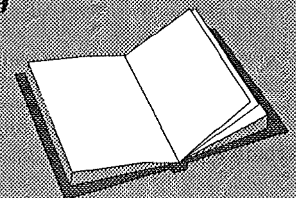
Nauwkeurige +5 V voeding met lage spanningsval

Inleiding
Wie een +5 V voeding nodig heeft voor het voeden van TTL-schakelingen grijpt uit gewoonte naar een 7805 stabilisator. Niet ten onrechte, want deze zeer goedkope IC's werken uitstekend en zijn volledig beveiligd. Voor de meeste toepassingen voldoen deze schakelingen uitstekend. Heeft men echter een zeer nauwkeurige +5 V voeding nodig, bijvoorbeeld omdat hieruit een spanningsreferentie moet worden afgeleid voor een DAC of ADC, dan komt men toch in de problemen. De 78xx-serie is immers niet bedoeld voor dit soort nauwkeurige toepassingen. Zo is bijvoorbeeld de stabiliteit van de uitgangsspanning in functie van de temperatuur niet voldoende voor referentiespanningen.
Ook de spanningsval over een 7805 is vrij groot. Als men meer dan voldoende ongestabiliseerde spanning heeft is dat natuurlijk geen enkel probleem. Problematischer wordt dit, als men de schakeling uit batterijen voedt. Dan is iedere 0,1 V die over de stabilisator blijft staan in feite 0,1 V teveel!

Eigenschappen
De in dit hoofdstuk beschreven schakeling heeft de volgende unieke eigenschappen:
- de uitgangsspanning is exact op +5,000 V af te regelen;
- de stabiliteit van de uitgangsspanning in functie van de temperatuur is meer dan uitstekend, namelijk 20 ppm;
- de ongestabiliseerde ingangsspanning kan liggen tussen +5,5 V (!) en +15 V;
- de schakeling werkt nog goed als er een spanning van slechts 0,5 V over de regeltransistor staat;
- de schakeling heeft een besturingsingang ENABLE, waarmee men de uitgangsspanning tot 0 V kan reduceren;
- de schakeling verbruikt zélf slechts 0,8 mA;
- de maximale uitgangsstroom bedraagt 200 mA;
- het verliesvermogen in de regeltransistor mag niet groter worden dan 625 mW.

De schakeling
De volledige schakeling van deze hoogwaardige +5 V voeding is getekend in figuur 4/13.9-1. De ongestabiliseerde ge-

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/14.3
Hoofdstuk 3/14.10
Hoofdstuk 6/6.19.9

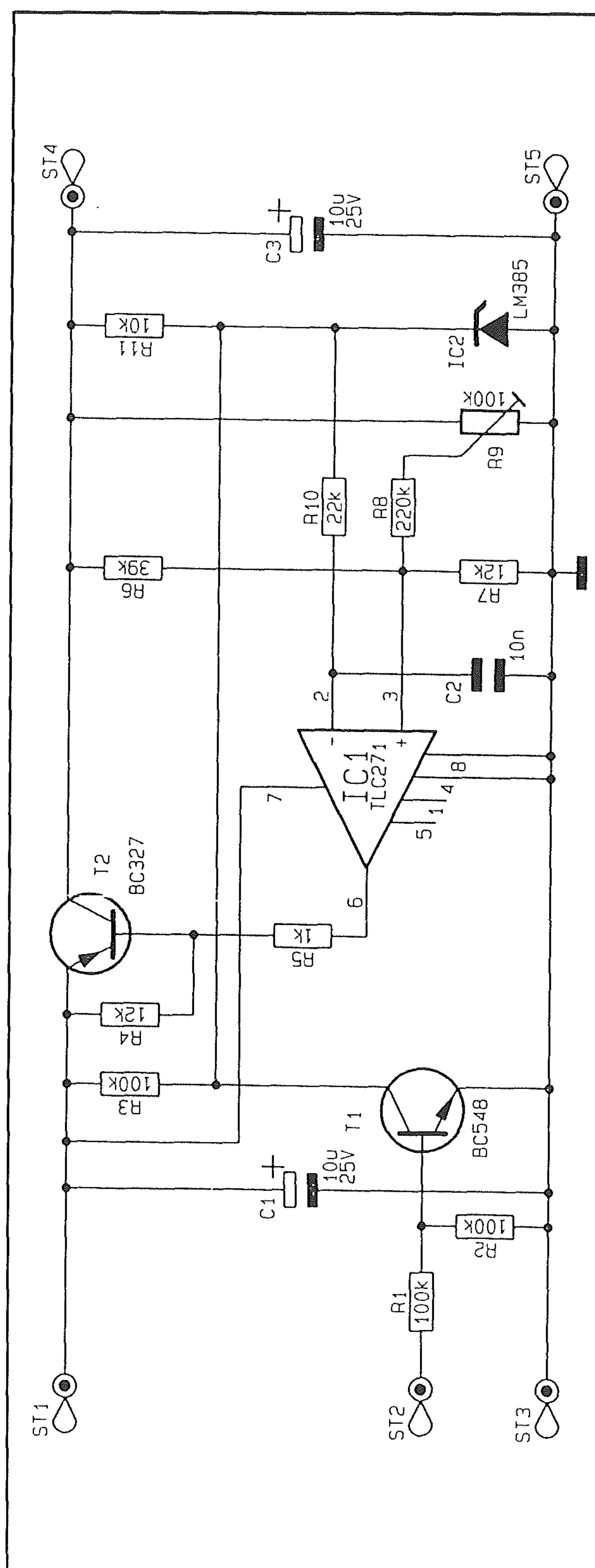


13.9 Nauwkeurige +5 V voeding met lage spanningsval

lijkspanning wordt aangelegd tussen de klemmen ST1 en ST3. De condensator C1, tussen deze pennen geschakeld, dient voor het onderdrukken van oscillatieneigingen. De ongestabiliseerde spanning wordt aangeboden aan de emitter van de regeltransistor T2. Op de collector van deze halfgeleider verschijnt de gestabiliseerde spanning van +5 V. Deze spanning kan tussen de klemmen ST4 en ST5 afgenomen worden. Ook de uitgang is voorzien van een condensator (C3), waarmee de uitgangsimpedantie gereduceerd wordt en de schakeling beter bestand is tegen hoogfrequente uitgangsstromen of de smalle impulsstromen, die TTL-schakelingen nogal eens van hun voeding vragen.

Uiteraard heeft ook deze voedingsschakeling een spanningsreferentie nodig. Hiervoor wordt een beroep gedaan op de LM385, een zeer nauwkeurige referentiediode die een uitgangsspanning levert van ongeveer 1,235 V. De temperatuurscoëfficiënt van deze diode bedraagt slechts 20 ppm. Dat betekent dat de uitgangsspanning slechts met $^{1}/_{50.000}$-ste varieert per graad Celsius temperatuurstijging of -daling!

De LM385 moet, net zoals een gewone zenerdiode, via een voorschakelweerstand aangesloten worden op een veel hogere gelijkspanning. Hiervoor wordt de weerstand R11 gebruikt. Het opmerkelijke van de schakeling is dat de ***gestabiliseerde uitgangsspanning*** wordt gebruikt voor het voeden van de referentie-diode! Bij een heleboel voedingsschema's zou dit absoluut niet kunnen, omdat de uitgangsspanning wordt gegenereerd uit de referentiespanning en er dus geen uitgangsspanning kan verschijnen als de referentie vanuit de uitgangsspanning wordt opgewekt.



Figuur 4/13.9-1: Het volledige schema van de gestabiliseerde +5V voeding.

13.9 Nauwkeurige +5 V voeding met lage spanningsval

Hier kan dit dus wél, dank zij de weerstand R3, die bij het inschakelen van de voeding de referentiediode voorziet van een kleine stroom. Deze stroom is toch groot genoeg om de referentie-diode in te stellen. Het grote voordeel van het voeden van de referentie-diode uit de gestabiliseerde uitgangsspanning is dat de stroom door de referentiediode onder alle omstandigheden constant blijft en dus ook de referentiespanning.
De referentiespanning wordt via de weerstand R10 aangeboden aan de inverterende ingang van de operationele versterker IC1. De condensator C2 dient voor het onderdrukken van ruis, die op de spanning aanwezig kan zijn. De operationele versterker vergelijkt de referentiespanning met een deel van de uitgangsspanning. Dit deel wordt geleverd dor de spanningsdeler R6-R7 en wordt rechtstreeks aan de niet-inverterende ingang aangeboden. Met behulp van het netwerkje R8-R9 kan men de spanningsdeler R6-R7 enigszins beïnvloeden, zodat het mogelijk is de uitgangsspanning op precies +5,000 V af te regelen.
De operationele versterker streeft naar spanningsgelijkheid tussen zijn beide ingangen. Het gevolg is dus dat dit onderdeel de transistor T2 via de weerstand R5 zo zal duren, dat aan deze spanningsgelijkheid wordt voldaan. Op deze manier zorgt het regelsysteem er automatisch voor dat de spanning op de niet-inverterende ingang (gelijk aan een deel van de uitganggspanning) gelijk wordt aan de spanning op de inverterende ingang, dus aan de spanning van de referentie-diode. Hetgeen onmiddellijk tot gevolg heeft dat de schakeling een uitgangsspanning levert die heel stabiel is en gelijk aan een waarde die wordt bepaald door de waarde van de onderdelen R6, R7, R8 en R9.

Het regelsysteem werkt als volgt. Stel dat de uitgang meer belast wordt, waardoor de uitgangsspanning de neiging krijgt om te dalen. Het gevolg is dat er minder spanning verschijnt op de niet-inverterende ingang van de operationele versterker. De inverterende ingang wordt positiever dan de niet-inverterende ingang, de uitgangsspanning van de operationele versterker gaat dalen. De basis van de regeltransistor T2 wordt dus minder positief. Het gevolg is dat er een groter spanningsverschil ontstaat tussen de emitter en de basis, waardoor de halfgeleider meer gaat geleiden. De inwendige weerstand neemt af, waardoor er minder spanning over de transistor valt en de uitgangsspanning gaat stijgen. De spanningsdaling wordt dus tegengewerkt door een spanningsstijging, met als gevolg dat de uitgangsspanning constant blijft.
Tot slot de ENABLE-functie. Als men op ingang ST2 geen spanning aanlegt, dan spert transistor T1 en heeft geen invloed op de schakeling. Legt men op deze ingang een spanning van +5 V, dan gaat de transistor naar verzadiging. De collector wordt met de massa verbonden. Hierdoor wordt de referentiediode IC2 kortgesloten met als logisch gevolg dat de inverterende ingang van de operationele versterker naar nul gaat. De niet-inverterende ingang is nu veel positiever ingesteld dan de inverterende ingang, met als gevolg dat de uitgang van de operationele versterker maximaal positief wordt, oftewel naar het voedingspotentiaal stijgt. Ook de basis van T2 wordt dan maximaal positief. Er is dan geen spanningsverschil tussen emitter en basis, met als gevolg dat de transistor gaat sperren. De uitgangsspanning valt dus naar 0 V. Met kan de ENABLE gebruiken om de voedingsspanning in geval van nood automatisch uit te schakelen.

13.9 Nauwkeurige +5 V voeding met lage spanningsval

Onderdelenlijst

Weerstanden, 1/4 W, 5 %:

R1,R2,R3	=	100	kΩ
R4,R7	=	12	kΩ
R5	=	1	kΩ
R6	=	39	kΩ
R8	=	220	kΩ
R10	=	22	kΩ

Instelpotentiometer, PT10, liggend:

R9	=	100	kΩ

Condensatoren:

C1,C3	=	10	μF	25 V elco
C2	=	10	nF	MKH

Halfgeleiders:

T1	=	BC548
T2	=	BC327
IC1	=	TLC271
IC2	=	LM385

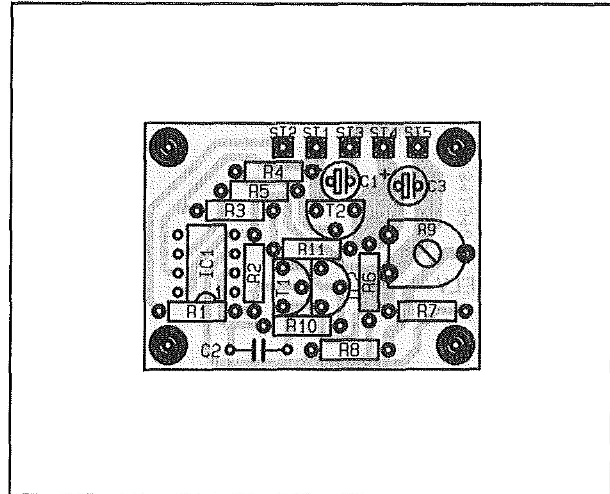
Diversen:
5 x printsoldeerlipje
1 x 8-pens IC-voetje

De bouw van de voeding

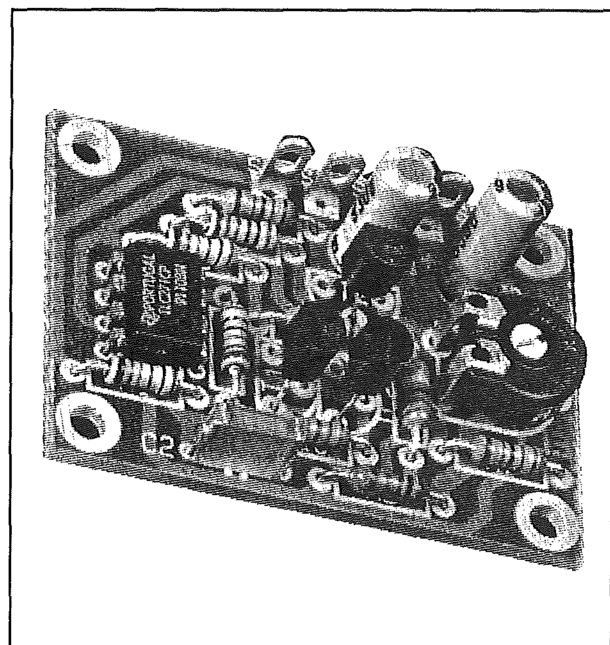
De volledige voeding kan gemonteerd worden op het kleine printje, dat wordt voorgesteld in figuur 4/13.9-2 op de transparante printpagina.
De componentenopstelling is geschetst in figuur 4/13.9-3 en behoeft geen nadere toelichting.
In figuur 4/13.9-4 wordt de kompleet gemonteerde voeding voorgesteld.

Afregelen

Het afregelen van de schakeling gaat als volgt. Zet een digitale universeelmeter op de uitgang, geschakeld op het 10.000 V bereik. Verbindt de schakeling met een ongestabiliseerde voedingsspanning van minimaal 5,5 V en maximaal 15 V. Verdraai de loper van de potentiometer R9 tot de meter exact +5.000 V aanwijst. De schakeling is nu klaar voor de dienst!

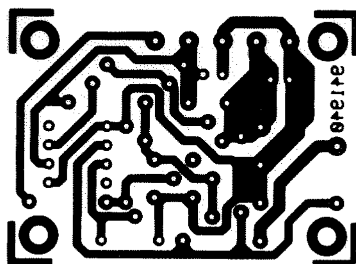


Figuur 4/13.9-3: De componentenopstelling van de voeding.



Figuur 4/13.9-4: De volledig afgebouwde voeding.

13.9 Nauwkeurige +5 V voeding met lage spanningsval



Figuur 4/13.9-2: De print van de schakeling.

4/13.10

Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C

Inleiding

Voor een aantal schakelingen, die weliswaar niet dadelijk in de sfeer van de huis-, tuin- en keuken-elektronica vallen, maar die voor de hobbyist die wat meer wil toch wel eens aan de orde zullen komen, is een zeer nauwkeurige gelijkspanningsbron onmisbaar. Te denken valt aan gebruik in digitale meters, analoog-naar-digitaal en digitaal-naar-analoog omzetters en goede voedingsapparatuur.

Er zijn natuurlijk een heleboel zeer goede referentie-IC's op de markt. Voor de particulier zijn die echter zo goed als onbereikbaar. De bekende postorderbedrijven voeren ze niet in hun programma en de importeurs zitten niet te springen op enkelstuks bestellingen van gelegenheidsontwerpers. Het zeldzame referentie-IC dat dan toch voor een ieder verkrijgbaar is, zoals de AD58OLH van Analog Devices (2,5 V met een temperatuurscoëfficiënt van 25 ppm/°C) is peperduur: *f* 58,00 exclusief rembours- en administratiekosten!

Redenen te over dus om een goedkoop zelfbouw alternatief te verzinnen!

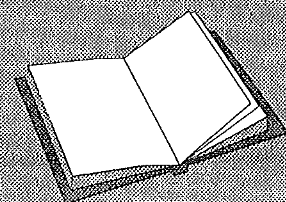
Het probleem

Er zijn referentie-IC's en referentie-IC's. De eerste soort houdt zich bezig met het opwekken van een bepaalde niet precies bekende spanning, die wel zeer constant blijft met de tijd en zo weinig mogelijk last heeft van temperatuurschommelingen. De tweede soort genereert een tot op de millivolt nauwkeurige spanning (bijvoorbeeld 10,000 V!) met goede temperatuur- en lange termijnstabiliteit. Het zal wel duidelijk zijn, dat de tweede soort voor de zelfbouwer onbereikbaar is. Hoe immers een spanning tot op de millivolt nauwkeurig afregelen?

In dit hoofdstuk wordt een schakelingetje besproken, dat een spanning van ongeveer 7,5 V opwekt met een zo klein mogelijke temperatuurscoëfficiënt.

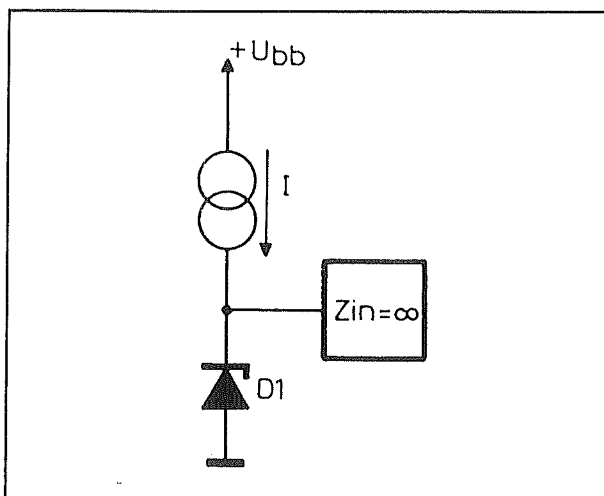
In theorie is er niets simpeler dan het maken van een constant spanningsbronnetje. Het is genoeg om, zoals getekend in figuur 4/13.10-1, een zenerdiode D1 in serie met een constante stroombron I op een voedingsspanning aan te sluiten en de zenerdiode te belasten met een buffer met een zo hoog mogelijke ingangsweerstand. De diode stelt zich dan in op één vast punt van haar spanning/stroom-

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/10.6
Hoofdstuk 3/12.3



13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C

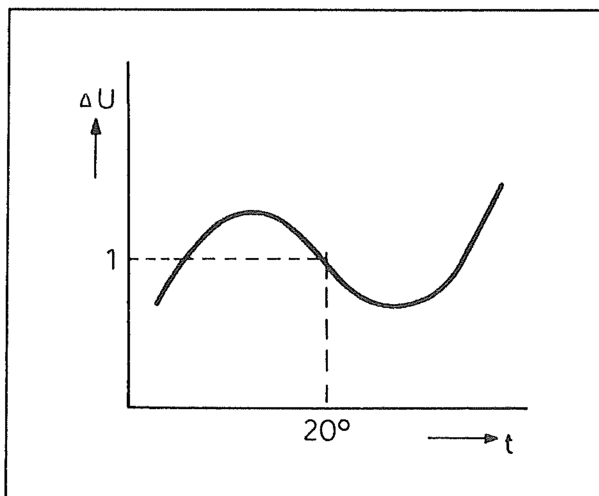
karakteristiek en de stroom I correspondeert met de zenerspanning U. Wijzigingen in de voedingsspanning, de stroom en/of de temperatuur hebben slechts minimale variaties van de zenerspanning tot gevolg.



Figuur 4/13.10-1: Het genereren van een stabiele spanning over een zenerdiode met behulp van een stroombron.

Als de eisen echter wat hoger worden gesteld, klopt van dit sprookje niet zo erg veel meer. Als voorbeeld wordt even dieper ingegaan op de temperatuurscoëfficiënt, omdat deze grootheid in het kader van dit project het interessantst is. Het is algemeen bekend dat zenerdioden een vrij lage temperatuurscoëfficiënt kunnen hebben. Kúnnen hebben, want de waarde van deze grootheid hangt van een heleboel factoren af:

- De zenerspanning:
  Op de eerste plaats van de zenerspanning zélf. Zo varieert de temperatuurscoëfficiënt bij de bekende reeks BZX88-dioden van -2,4 mV/°C voor het 3,9 V type tot +20,4 mV/°C voor het 24 V type. Ergens moet er dus een zenerdiode bestaan, met een minimale temperatuurscoëfficiënt. Voor de BZX88-serie is dat de 5,6 V met een waarde van slechts -0,8 mV/°C. Dit lijkt erg weinig, maar over een temperatuurgebied van 10 °C tot 30 °C geeft dat toch een fout van 0,31 %, onacceptabel voor de genoemde toepassingen.
- De zenerstroom:
  Op de tweede plaats is de temperatuurscoëfficiënt afhankelijk van de zenerstroom. Hogervermelde waarde voor de BZX88-C5V1 geldt alleen maar voor een stroom van 5 mA door de diode.
- De S-curve:
  Op de derde plaats kan er eigenlijk niet worden gesproken van dé temperatuurscoëfficiënt van een zenerdiode, zelfs niet bij een gespecificeerde stroom. Nauwkeurig onderzoek toont aan dat de spanningsafwijking als functie van de temperatuur een S-vormig verloop vertoont, zoals geschetst in figuur 4/13.10-2. Niet alleen is de waarde niet constant, maar bij bepaalde temperaturen slaat de positieve coëfficiënt zelfs om in een negatieve!



Figuur 4/13.10-2: Het S-vormige verloop van de temperatuurscoëfficiënt van een zenerdiode.

13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C

Besluit: zelfs als de stroom door de zenerdiode constant wordt gehouden is het niet mogelijk de temperatuurscoëfficiënt door middel van een of andere compensatieschakeling te onderdrukken. Dat zou wél kunnen als de waarde van de temperatuurscoëfficiënt constant was, maar dat S-vormige grafiekje kan niet in een schakeling gevangen worden!

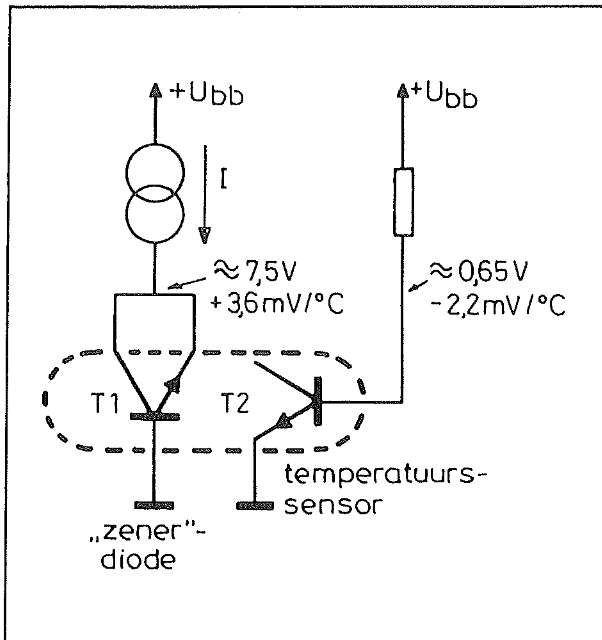
Temperatuur stabiliseren

Tot deze conclusie zijn uiteraard al een heleboel onderzoekers van halfgeleiders gekomen. Vandaar dat men er toe overgaat op een of andere manier de temperatuur van de diode te stabiliseren.
Voor de goede orde wordt hier nog opgemerkt dat er een geheel andere benadering bestaat voor het opwekken van een temperatuurstabiele spanning. Bij deze zogenoemde "bandgap"-techniek gaat men uit van de U_{be} van een geleidende transistor, die weliswaar ook zeer temperatuursafhankelijk is, maar waarbij een zo goed als lineair verband tussen U_{be} en de temperatuur kan worden aangetoond.
Door vrij eenvoudige schakeltechnieken kan men deze afhankelijkheid compenseren.
Dit systeem leent zich uitstekend voor integratie op één chip, maar absoluut niet voor zelfbouw met discrete componenten. Men moet dus op de een of andere manier werken met de temperatuurgestabiliseerde zenerdiode.
Gemakkelijker gezegd dan gedaan! Het op een constante temperatuur houden van een zenerdiode mag dan voor een fabrikant een fluitje van een cent zijn, de zelfbouwer heeft het er maar wat moeilijk mee. Dat er een gesloten regelsysteem moet gebouwd worden, met aan de ene kant een siliciumdiode als temperatuurmeter en aan de andere kant een stel weerstanden als verwarmingselement zal duidelijk zijn.
Hoe zijn beide onderdelen echter zo innig met de zenerdiode te verenigen, dat het geheel op een zeer constante temperatuur blijft?
Eerste experimenten, waar twee 150 Ω weerstandjes, de zenerdiode en de temperatuursensor tussen de ribbetjes van een IC-koelprofieltje werden gekleefd, leverden geen bruikbare resultaten op. Lange opwarmtijden, "overshoot" op de spanning en vooral resultaten die te zeer afhankelijk zijn van toevallig niet in de hand te houden gegevens als hoeveelheid lijm, juiste plaats van warmtegeleidende pasta, enz.

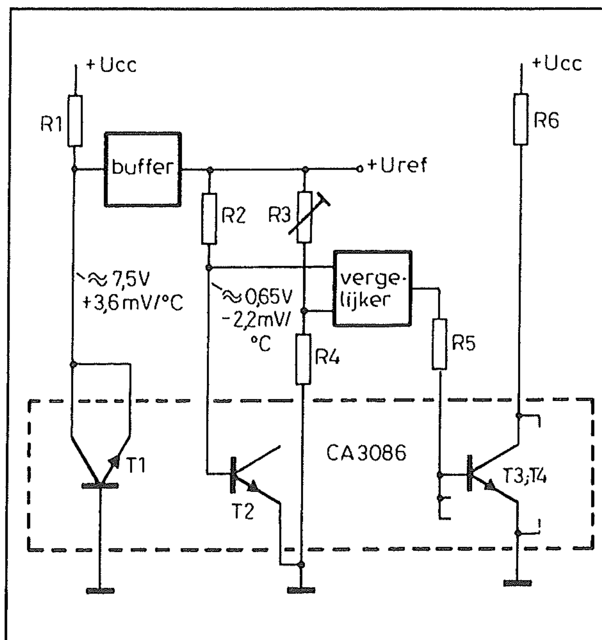
Een transistor als zenerdiode

Er is echter een andere benadering mogelijk. Een transistor kan namelijk óók als zenerdiode worden gebruikt. De doorslagspanning van de basis-emitter van een siliciumtransistor is namelijk vrij constant en gelijk aan ongeveer 7,5 V! Er bestaan zogenoemde "dual"-transistoren, twee transistoren op één chip.
Zoals geschetst in figuur 4/13.10-3 kan dan één transistor worden gebruikt als zenerdiode en de tweede als temperatuursensor.
Zoeken naar een goedkope en goed verkrijgbare "dual"-transistor bracht de ontwerper bij de CA3086, een "array" waar vijf identieke transistoren op één chip zijn ondergebracht.
Dé oplossing lag nu voor de hand: transistoren kunnen net zo goed als weerstanden heet worden gestookt. Als men, zoals geschetst in figuur 4/13.10-4, één transistor gebruikt als zenerdiode, de tweede als temperatuursensor en de rest van de chip als verwarmingselement, dan ontstaat een elegante oplossing voor het probleem.

13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C



Figuur 4/13.10-3: Twee identieke transistoren op één chip vormen een innig gekoppelde zenerdiode en temperatuursensor.



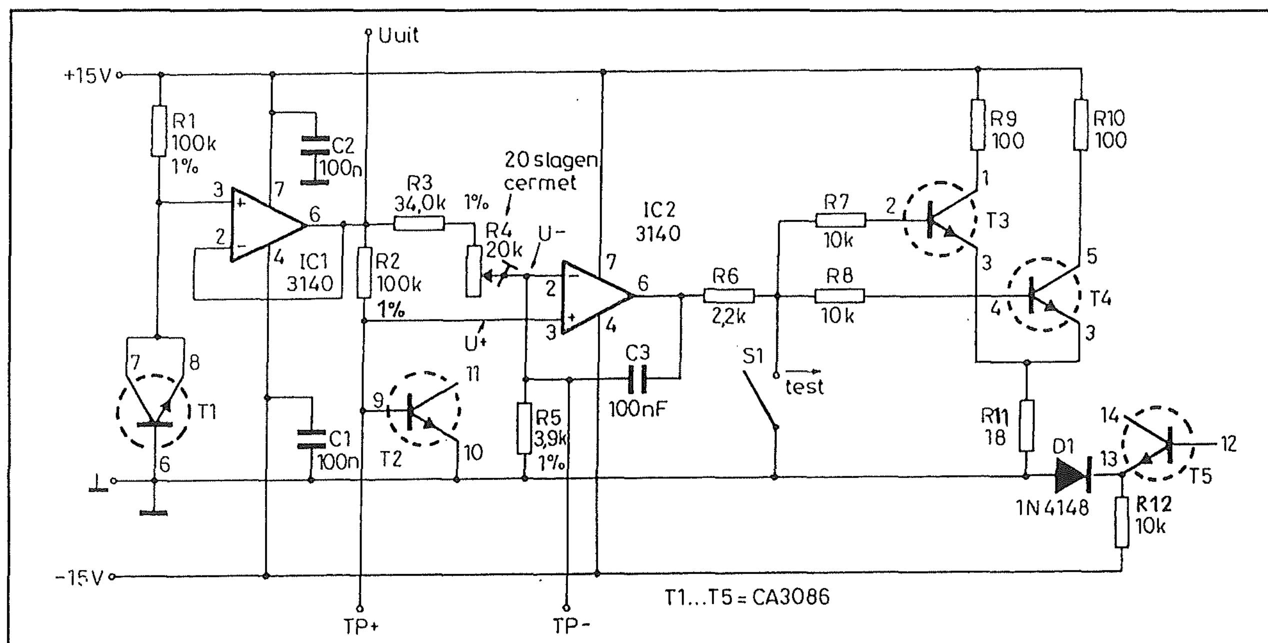
Figuur 4/13.10-4: Een transistor-array van het type CA3086 wordt gebruikt als zenerdiode, temperatuursensor en als verwarmingselement.

De zenerdiode T1 wordt afgesloten met een buffer. In een comparator wordt de spanning U_{be} van T2 met een zeer stabiele referentiespanning vergeleken, die door middel van weerstandsdeler R3-R4 is afgeleid van de eigen referentiespanning. Deze vergelijker stuurt een bepaalde stroom door T3-T4, waardoor de chip gaat opwarmen tot een door middel van de weerstandsdeler bepaalde temperatuur. Door de gesloten regellus tussen T2 en T3 zal het systeem zichzelf stabiliseren. De chip stelt zich in op een constante temperatuur en over T1 ontstaat een zeer constante referentiespanning. Sturing van T1 door middel van een constante stroombron werd verworpen. Ook dit soort schakelingen hebben een tamelijk grote temperatuurscoëfficiënt. Het probleem zou zich dus alleen maar verplaatsen.

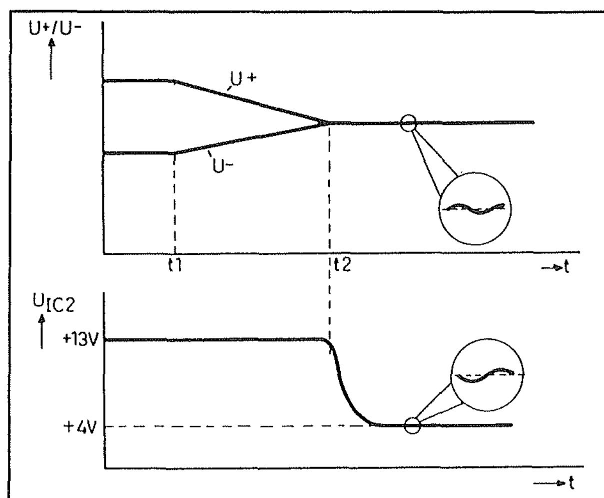
De praktische schakeling

Volgens het beschreven principe werd een praktisch bruikbaar schema samengesteld, getekend in figuur 4/13.10-5. De zenerdiode T1 wordt afgesloten met een als buffer geschakelde operationele versterker IC1. Een gelijksoortige schakeling dient als regelelement. De U_{be} van de temperatuursensor T2 wordt vergeleken met een door middel van R4 instelbare spanning. Door het aanbrengen van condensator C3 wordt een soort van proportionele integraalregeling gemaakt. Zonder deze condensator zou IC2 als comparator werken en zouden de transistoren T3-T4 aan en uit worden gestuurd. Het gevolg zou zijn dat de temperatuur van de chip rond de instelwaarde zou gaan schommelen en bijgevolg ook de zenerspanning.De werking van deze proportionele integraal regelaar wordt toegelicht aan de hand van de grafieken van figuur 4/13.10-6.

13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C



Figuur 4/13.10-5: Het praktisch schema van de zeer stabiele referentiespanning.



Figuur 4/13.10-6: De werking van de integrerende regelschakeling.

Vóór tijdstip t1 is schakelaar S1 gesloten, zodat de uitgangsspanning van de op-amp wordt kortgesloten en de drie verwarmingstransistoren niet worden gestuurd. Door middel van R4 kan men nu een bepaald spanningsverschil tussen beide ingangen van de op-amp instellen. Daarbij moet men rekening houden met de tegengestelde polariteiten van de temperatuurscoëfficiënten van de zenerspanning over T1 en van U_{be} van T2. De eerste stijgt bij stijgende temperatuur, de tweede daalt. Men moet dus de spanning op de niet-inverterende ingang (U_{be}) in niet opgewarmde toestand positiever maken dan de spanning op de inverterende ingang. Dit spanningsverschil wordt door de op-amp geïntegreerd, met als gevolg dat de uitgang U_{IC2} vastloopt tegen de positieve voedingsspanning.

Op tijdstip t1 wordt de schakelaar S1 geopend. De transistoren T3-T4 worden gestuurd. De chip warmt op, U_+ gaat dalen en U_- gaat stijgen. De uitgang van de op-amp blijft echter gelijk aan de oorspronkelijke waarde. Na enige tientallen seconden is de temperatuur van de chip zoveel graden gestegen dat U_+ gelijk wordt aan U_-. Even later wordt U_- een fractie van een millivolt positiever dan U_+. De integrerende werking van het systeem zorgt voor een ontladen van condensator C3, zodat de

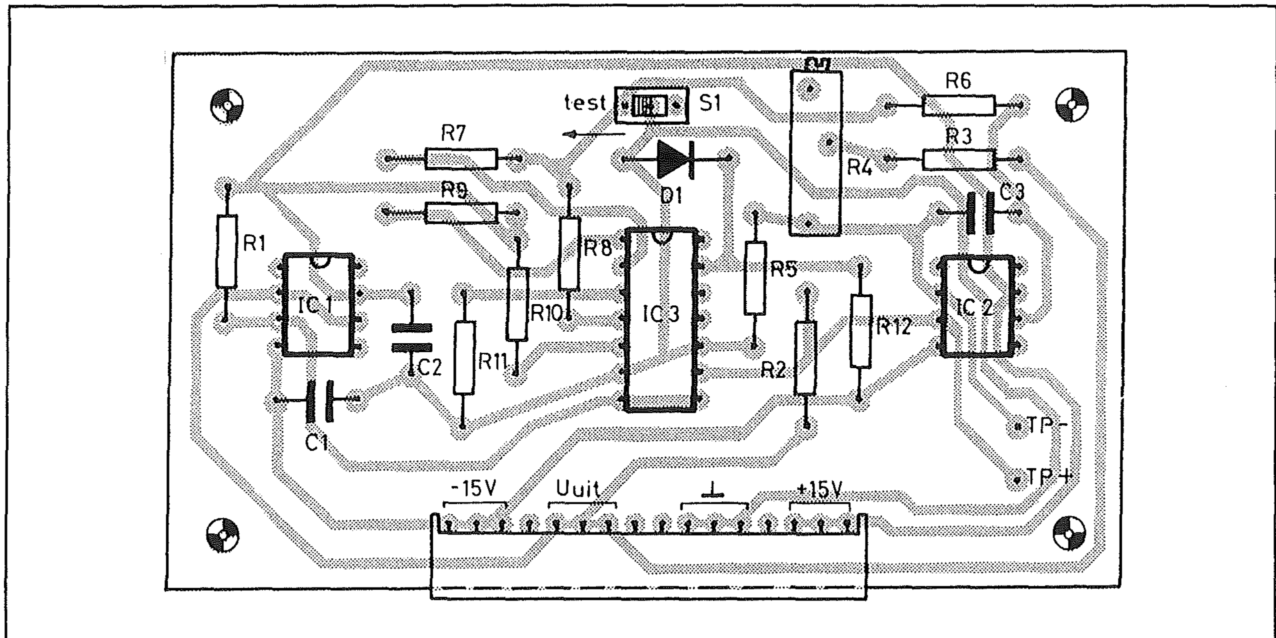
13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C

uitgangsspanning van de op-amp daalt. T3-T4 worden minder gestuurd, hun dissipatie neemt af. Het systeem stabiliseert zich dus op een bepaalde temperatuur, waarbij de warmtetoevoer via de twee transistoren gelijk is aan de warmteafvoer naar de buitenwereld.
Iedere variatie van de omgevingstemperatuur verstoort dit evenwicht, hetgeen minimale variaties op de U_{be} van T2 oplevert. De integrator reageert echter onmiddellijk door het veranderen van zijn uitgangsspanning.
Hetgeen tot resultaat heeft dat de daaruit volgende variatie in warmtetoevoer via T3-T4 het evenwicht herstelt.
De emitter van de vijfde transistor (pen 13) vormt het substraat van de chip en moet negatief zijn ten opzichte van alle andere aansluitingen van het array. Door middel van R13 en D1 wordt dit punt ingesteld op een spanning van -0,7 V. Simpelweg aan de negatieve voeding leggen kan niet, want de maximale spanning over het array mag slechts 20 V bedragen.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5%	
R6	2,2 kΩ
R7,R8,R12	10 kΩ
R9,R10	100 Ω
R11	18 Ω
WEERSTANDEN, 1 % MF	
R1,R2	100 kΩ
R3	34 kΩ
R5	3,9 kΩ
CERMET TWINTIG SLAGEN TRIMMER	
R4	20 kΩ
CONDENSATOREN	
C1,C2,C3	100 nF MKH
HALFGELEIDERS	
D1	1N4148
IC1,IC2	3140, mini-DIL
IC3	CA3086
DIVERSEN	
S1	printschakelaartje, APR 25.136 HA
2	IC-voetje, 8 pennen
1	IC-voetje, 14 pennen
1	16-polige haakse printconnector
1	16-polig contra-connector

13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C



Figuur 4/13.10-8: De componentenopstelling van de schakeling.

De bouw van de schakeling
Hoewel in de meeste gevallen deze temperatuurgecompenseerde spanningsbron geïntegreerd zal worden in een groter printontwerp, is toch een klein printje voor de schakeling ontworpen. Dit staat, als figuur 4/13.10-7, op de transparante pagina. De componentenopstelling is weergegeven in figuur 4/13.10-8.
De module is via een 16-polige minimodule printdeel met haakse contacten toegankelijk. Voor S1 werd in het prototype een APR printschakelaar type 25.136 HA toegepast.

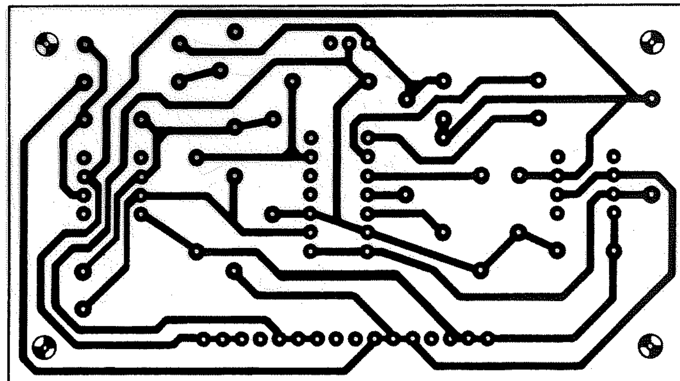
De schakeling in de praktijk
De schakeling wordt gevoed uit symmetrische spanningen van +15 V en -15 V, waarbij zeker de positieve spanning zeer goed moet zijn gestabiliseerd.

Prestaties
Alvorens de schakeling voor het eerst met de voeding te verbinden, wordt schakelaar S1 in de stand "test" gezet. Nadien wordt de module aangesloten en wacht men een tiental minuten. Vervolgens meet men de spanning tussen beide testpunten TP1 en TP2 en regelt deze door middel van R4 (een cermet-instelpotmeter met 20 slagen) af op 140 mV, waarbij U_+ positief is ten opzichte van U_-.
Men opent S1, het spanningsverschil tussen beide testpunten gaat vrij snel naar nul. Na een vijftal minuten is de schakeling gestabiliseerd en staat op de uitgang een spanning van ongeveer +7,5 V ter beschikking met een uitstekende temperatuurstabiliteit. Om dit laatste te testen werd de schakeling langzaam van + 15 °C opgewarmd tot +35 °C. Met een professionele vijf en een halve decade digitale universeelmeter van Fluke werd de uitgangsspanning gemeten. De meter en de voeding waren in een andere ruimte met constante temperatuur opgesteld. De spanning verliep slechts 3 mV. Enige berekeningetjes leveren een temperatuursverloop van 0,0020 %/°C op, zonder meer een uitstekende waarde en vergelijk-

13.10 Thermostatisch gestabiliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C

baar met de afwijking van de in de inleiding genoemde kant-en-klare spanningsreferentie AD58OLH van Analog Devices!
Ook de stabiliteit op lange termijn werd getest. De schakeling werd drie dagen met dezelfde meter geobserveerd en regelmatig werd de uitgangsspanning gemeten. Het grootste verloop was slechts 2 mV.
Tot slot werd de gevoeligheid voor voedingsspanningsvariaties getest. Het veranderen van de positieve voedingsspanning tussen +13 V en + 17 V leverde een uitgangsschommeling van 30 mV op, hetgeen overeenkomt met 7,5 mV/V.
Als de module wordt losgekoppeld van de voeding (deze blijft wel ingeschakeld!) en na ongeveer een uurtje weer met de voeding verbonden, komt de uitgangsspanning binnen vijf minuten terug op de oude waarde, weliswaar met een korte "overschoot" van ongeveer 20 mV.

13.10 Thermostatisch gestabilliseerde referentie met t.c. van 0,0020 %/°C



Figuur 4/13.10-7: De print voor de schakeling.

4/13.11

Universele stroombegrenzer

Inleiding

Het zal je maar gebeuren! Een mooie proefschakeling met acht IC's op de werkbank, verwachtingsvol de voeding er op, voeding inschakelen en ... de zekering knalt door. Blijkt dat de voeding verkeerd om is aangesloten! Met een beetje geluk niets aan de hand, met veel pech acht IC's naar de maan, overleden aan een overdosis calorieën als gevolg van een veel te grote stroomopname.

Dan wordt het echt tijd te overwegen de voeding uit te rusten met een stroombegrenzer. Het verkeerd aansluiten van de voeding kan hiermee weliswaar niet worden voorkomen, maar de gevolgen blijven in de meeste gevallen beperkt. Als de voeding meer stroom levert dan in redelijkheid kan worden aangenomen dat de te testen schakeling verbruikt, valt ogenblikkelijk de spanning terug. Het enige dat dan nog kan gebeuren is dat onderdelen stuk gaan door de verkeerde polarisatie van de voeding, maar wat in ieder geval uitgesloten is dat IC's de geest geven door oververhitting. En de ervaring leert dat IC's in dit soort gevallen eerder er het bijltje bij neerleggen door oververhitting dan door verkeerde polariteit.

Het principe van stroombegrenzing

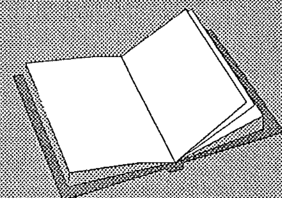
Professionele voedingen zijn allemaal voorzien van een instelbare stroombegrenzer. Sluit de voeding kort, draai aan een potentiometertje en op de ingebouwde ampère-meter kan men onmiddellijk de maximaal te leveren stroom aflezen. Tot aan deze waarde werkt het apparaat als constante spanningsbron.

Wordt de maximale stroom overschreden (of liever, wil de aangesloten schakeling meer stroom dan de ingestelde maximale waarde) dan gaat het apparaat als constante stroombron werken. De uitgangsspanning wordt automatisch zo ver verlaagd tot de door de schakeling gevraagde stroom niet hoger kán zijn dan de ingestelde maximale waarde.

Met zo'n schakeling spaart men niet alleen IC's uit bij het per ongeluk verkeerd om aansluiten van de voeding. Het is ook zonder meer erg handig bij allerlei experimentele opstellingen waar de kans bestaat dat schakelingen door thermische onstabiliteit kunnen "weglopen" zoals dat heet. Een verschijnsel waarbij verhitting van bepaalde onderdelen een stijging van

LEES OOK:

Hoofdstuk 4/13.8



de stroom veroorzaakt, waardoor weer meer warmte ontstaat, waardoor de stroom nog verder stijgt. Een uit de hand lopende gebeurtenis, die meestal eindigt met verbrande transistoren, tenzij de stroomcapaciteit van de voeding kunstmatig wordt gereduceerd door een stroombegrenzer. Kortom, een zeer handige voedingsfunctie maar helaas zijn de meeste goedkope in de handel verkrijgbare voedingen hoogstens met een kortsluitbeveiliging uitgerust. En dat is iets heel anders, een kleine hulpschakeling die er alleen voor zorgt dat de voeding zelf een calamiteit overleeft, maar absoluut geen rekening houdt met de gevoeligheden van de op de voeding aangesloten schakelingen.
Nu is het voor iemand die goed thuis is in de elektronica niet zo'n grote kunst in gelijk welk soort gestabiliseerde voeding een stroombegrenzing in te bouwen. Maar toch eist dit meer inzicht dan waarschijnlijk van een grote groep lezers mag worden verwacht. Vandaar deze schakeling, een klein hulpschakelingetje dat tussen de niet beveiligde voeding en de aangesloten apparatuur wordt opgenomen. Op de schakeling zit een potentiometer en een kortsluitschakelaar. Sluit men deze laatste, dan worden de uitgangen van de hulpschakeling kortgesloten en kan men met behulp van de potentiometer (en de hopelijk op de voeding aanwezige ampère-meter) de maximale stroom instellen op een waarde tussen 0 A en 1 A. Vanaf dat moment kan de voeding nooit meer stroom leveren dan de éénmaal ingestelde waarde en met een rustig hart kan men zich volledig op de experimenten concentreren, zonder voortdurend de stroommeter van de voeding in het oog te moeten houden. De schakeling is bovendien uitgerust met een groene en een rode LED. De eerste brandt als de opgenomen stroom kleiner is dan de ingestelde waarde, de tweede gloeit op als de stroombegrenzer in werking treedt.

Voor- en nadelen

Nu moet men zich echter wel realiseren dat het tussenschakelen van een klein printje zonder eigen voeding nooit zo goed kan zijn als een in een complete voedingsschakeling geïntegreerde stroombegrenzer. Met name het feit dat zowel vanwege de kosten als vanwege de handigheid is gekozen voor een schakeling die zichzelf uit de (regelbare) uitgangsspanning van de voeding voedt heeft als nadeel dat de ingestelde stroom enigszins verloopt als men de uitgangsspanning van het apparaat op een andere waarde instelt. Dit verloop is echter kleiner dan 10 % en men heeft er in de praktijk geen hinder van. Bovendien is het opnieuw instellen van de maximale stroom een klusje dat 10 seconde in beslag neemt.
Een groter nadeel is dat de schakeling alleen goed werkt als de uitgangsspanning van de voeding tussen 9 V en 35 V ligt. Onder deze genoemde minimale waarde gaat de stroom erg verlopen. De maximale spanning wordt bepaald door de karakteristieken van de in de schakeling gebruikte onderdelen. Met name de stabilisator voor de referentie-spanning en de operationele versterker kunnen absoluut geen spanningen hebben die groter zijn!

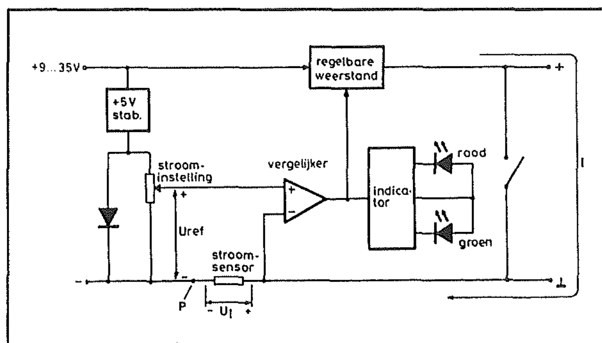
Principe van de schakeling

Het algemene principe van stroombegrenzing is getekend in figuur 4/13.11-1. Het komt er op neer de te begrenzen stroom om te zetten in een spanning die recht evenredig is met de stroom. Nu is dat helemaal geen kunst, het volstaat immers de stroom door een kleine weer-

13.11 Universele stroombegrenzer

stand te laten lopen (de zogenoemde stroomsensor) en over dit onderdeel ontstaat een spanning die volgens de wet van Ohm gelijk is aan:

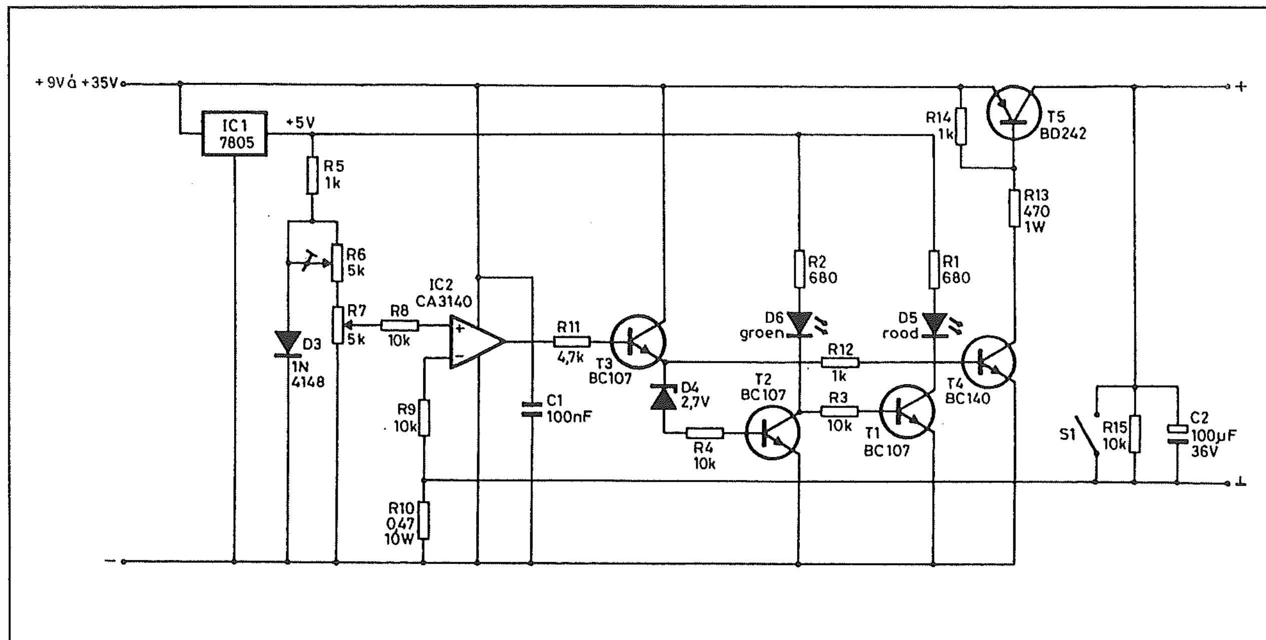
$U_I = R * I$



Figuur 4/13.11-1: Het principe van de stroombegrenzing.

Als de waarde van de weerstand constant blijft (wat vanwege temperatuurs-effecten echter niet zo vanzelfsprekend is) dan zal de waarde van U_I recht evenredig zijn met de stroom. Is de weerstand gelijk aan 1 Ω, dan zal een stroom van 1 A een spanning van 1 V opwekken en een stroom van 2 A een spanning van 2 V. Deze sensorspanning wordt vervolgens in een operationele versterker vergeleken met een zeer stabiele referentie-spanning. Is U_I kleiner dan deze referentie, dan stuurt de op-amp een regelbare weerstand (uiteraard elektronisch samengesteld) naar 0 Ω en is de uitgangsspanning gelijk aan de ingangsspanning. Zou nu echter U_I groter worden dan de referentie, dan zal de op-amp de waarde van de elektronische weerstand laten stijgen, waardoor er meer weerstand in de voedingskring wordt opgenomen en de waarde van de stroom daalt. Het systeem maakt gebruik van een terugkoppeling die er voor zorgt dat U_I nooit groter kan worden dan U_{ref}. Zou de op de voeding aangesloten schakeling meer stroom vragen, dan zal de waarde van de elektronische weerstand automatisch zo ver worden verhoogd tot de stroom toch op de met de potentiometer onrechtstreeks ingestelde waarde begrensd wordt. Onrechtstreeks omdat met deze potentiometer een spanning wordt ingesteld die wordt vergeleken met een tweede spanning U_I, die proportioneel is aan de stroom. Door het stijgen van de waarde van de elektronische weerstand daalt de uitgangsspanning van de voeding. Het enige probleem bij het ontwikkelen van de schakeling is dus een systeem te verzinnen dat bij sterk variërende ingangsspanningen (het bruikbare voedingsgebied van 9 V tot 35 V) een zeer constante referentie-spanning genereert. Gelukkig komt de moderne IC-techniek ons hier ter hulp! Zoals duidelijk uit de tekening blijkt is het referentie-punt voor het met elkaar vergelijken van de twee spanningen de negatieve uitgang van de voeding (punt P). De stroomsensor staat tussen deze uitgang en de negatieve uitgang van de schakeling. Dit laatste punt wordt nu de nieuwe massa van de voeding. Het zal dus duidelijk zijn dat het niet mogelijk is de negatieve uitgang van de voeding met de massa te verbinden. Bij sommige voedingsapparaten kan men namelijk de negatieve uitgang door middel van een metalen bruggetje met het chassis van het apparaat en zodoende met de aarding van het net verbinden. Gebruikt met de stroombegrenzer, dan doet men er goed aan dit beugeltje te verwijderen en de voeding dus "zwevend" te gebruiken. Zou men namelijk een ook met de aarding verbonden meetapparaat op de te voeden schakeling aansluiten (oscilloscoop) dan zou de stroomsensor-weerstand kortgesloten worden via de aardingsdraden van voeding en meetapparaat en zou de stroombegrenzing niet werken.

13.11 Universele stroombegrenzer



Figuur 4/13.11-2: Het volledig schema van de schakeling.

Praktische schema
Het volledig schema van de schakeling is getekend in figuur 4/13.11-2. R7 is de potentiometer waarmee men de maximale stroom kan instellen en die dus de referentie-spanning opwekt. Deze referentie-spanning ontstaat in twee stappen. Eerst wordt uit de uitgangsspanning van de voeding een stabiele 5 V afgeleid door middel van een geïntegreerde spanningsregelaar IC1. Nadien wordt de diode D3 met een constante stroom gevoed via weerstand R5. Afgezien van temperatuursinvloeden kan men stellen dat de spanning over deze diode onder alle ingangsomstandigheden zeer stabiel blijft op een waarde rond de 0,7 V.
De stroomsensor-weerstand R10 heeft echter een waarde van 0,47 Ω. De maximale stroom van 1 A wekt over dit onderdeel een spanning van 0,47 V op, het is noodzakelijk de 0,7 V over de referentiediode tot deze waarde te reduceren. Vandaar de in serie geschakelde instelpotentiometer R6. Met dit onderdeel kan men de referentie-spanning over R7 op precies 0,47 V afregelen.
De twee spanningen worden met elkaar vergeleken door middel van de operationele versterker IC2. Nu valt het niet mee twee relatief kleine spanningen die bovendien tegen de negatieve voeding aanliggen in een op-amp te verwerken. Een 741 zou bijvoorbeeld volkomen onbruikbaar zijn! Gelukkig kan de 3140 dat klusje aan, dit IC is zelfs in staat spanningen die iets kleiner zijn dan zijn negatieve voedingsspanning te behandelen. Dit IC is echter zeer breedbandig en veroorzaakt nogal wat oscilleerproblemen. Vandaar de voedingsontkoppelingscondensator C1, die de schakeling in toom houdt.
De regelbare weerstand is niet, zoals te doen gebruikelijk, samengesteld uit een emittervolger. Over zo'n schakeling valt steeds minstens 0,7 V en deze spannings-

val bepaalt mede het verschil tussen de spanning die kan worden afgelezen op de in de voeding ingebouwde voltmeter en de echte voedingsspanning die na de stroombegrenzer ter beschikking staat. Over een geleidende PNP-transistor, geschakeld zoals getekend in figuur 4/13.11-2, valt echter slechts ongeveer 50 mV en deze oplossing is dan ook zonder meer te prefereren. De BD242 (T5) wordt gestuurd uit een darlington (T3 en T4). Worden deze transistoren door de operationele versterker in geleiding gestuurd, dan zal er een grote basisstroom door de BD242 vloeien (slechts begrensd door de kleine weerstand R13). Transistor T5 wordt volledig in verzadiging gestuurd en op de collector meet men een spanning die zo goed als gelijk is aan de spanning op de emitter, ook als de collectorstroom varieert. De (hopelijk) uitstekende stabilisatie-eigenschappen van de voeding gaan dus zo min mogelijk verloren.
Dit verhaal geldt als de spanning die door de belastingsstroom over R10 wordt opgewekt kleiner is dan de ingestelde referentie-spanning. De niet-inverterende ingang van de op-amp is dan positief ten opzichte van de inverterende ingang, de uitgangsspanning van de schakeling is ongeveer gelijk aan de voedingsspanning en de transistoren worden in geleiding gestuurd. Als de stroom echter zo groot wil worden dat de spanning over R10 groter wordt dan de ingestelde referentie, dan wordt de spanning op de inverterende ingang groter dan deze op de niet-inverterende ingang. De uitgangsspanning van de op-amp gaat dalen, de drie transistoren worden minder gestuurd. De serietransistor T5 ontwaakt uit zijn verzadigde toestand en gaat minder geleiden. Hetgeen kan worden geïnterpreteerd als het elektronisch vormen van een weerstand in de voedingskring. De uitgangsspanning daalt, de belastingsstroom daalt tot de spanning over de stroomsensor gelijk wordt aan de referentie-spanning.
De spanning op de emitter van T3 wordt gebruikt voor het sturen van de twee LED's. Is de stroombegrenzing niet in functie, dan staat op dit punt een tamelijk grote positieve spanning. Deze stuurt via de zener D4 en de weerstand R4 transistor T2 in geleiding. De groene LED gaat branden. Wordt de stroombegrenzing echter ingeschakeld, dan daalt de spanning op de emitter van T3. Transistor T2 gaat minder geleiden, de collectorspanning stijgt en T1 komt in geleiding. Ook de rode LED begint te branden. Bij volledige kortsluiting van de voeding of bij sterke begrenzing is de spanning op de emitter van T3 zo laag dat de zenerdiode D4 spert en T2 niet meer geleidt. De groene LED is dan volledig gedoofd en de rode brandt op volle sterkte. De twee lichtgevende dioden geven dus geen eenduidige indicatie over de functie van de schakeling. Er bestaat een overgangsgebied waarin beide onderdelen oplichten.
Men kan echter stellen dat de stroombegrenzing in werking treedt op het moment dat de rode LED begint te branden.

Bouw van de schakeling
Voor deze schakeling is een klein printje ontworpen, dat precies past op het grondvlak van een koelprofiel van het type SK79 (Fischer Elektronik) met een lengte van 75 mm, zie figuur 4/13.11-3 op de laatste pagina van dit hoofdstuk. Het is de bedoeling dat in dit grondvlak vier gaatjes worden geboord (in de hoeken) en de print met 15 mm lange afstandsbusjes op het profiel wordt gemonteerd. De transistor T5 wordt op het grondvlak geschroefd. Nadien kunnen de aansluitingen naar

13.11 Universele stroombegrenzer

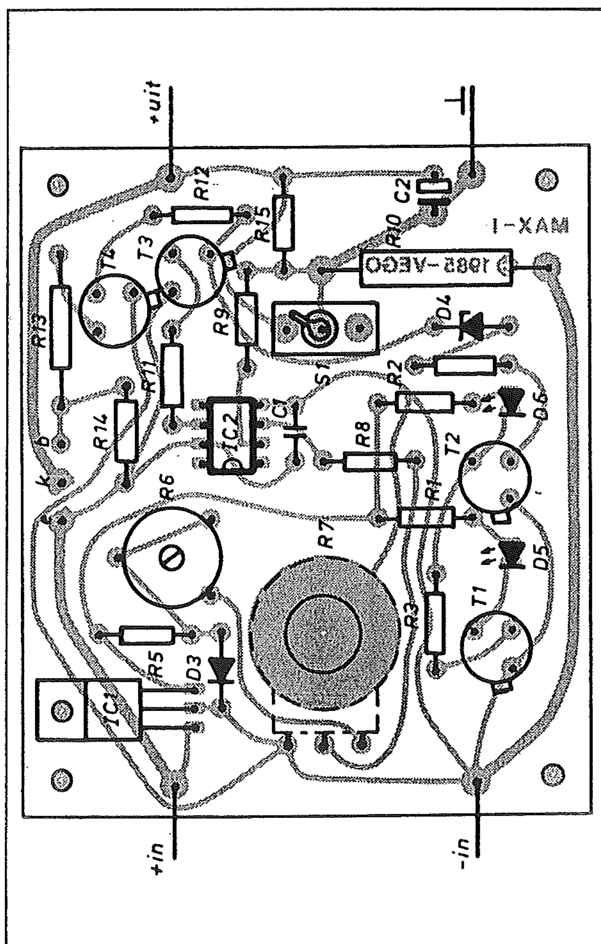
buiten worden gebogen en op de koperzijde van de print vastgesoldeerd. Er ontstaat een zeer compact geheel, waarop men op de ene kant de draden van de voeding aansluit en op de andere kant de belasting. De componentenopstelling is getekend in figuur 4/13.11-4. Weerstand R10 is een 10 W exemplaar, niet omdat er zoveel vermogen gedissipeerd wordt (0,47 V * 1 A = 0,47 W), maar omdat het niet de bedoeling is dat dit onderdeel opwarmt. Door de temperatuurscoëfficiënt van bijvoorbeeld een in principe bruikbare 1 W weerstand zou de waarde tamelijk sterk variëren en als gevolg zou de stroom bij begrenzing niet constant blijven. Voor IC1 wordt een 7805 gebruikt, omdat dit onderdeel ongetwijfeld

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %	
R1,R2	680 Ω
R3,R4,R8,R9,R15	10 kΩ
R5,R12,R14	1 kΩ
R11	4,7 kΩ
WEERSTANDEN, DIVERSEN	
R6	5 kΩ instelpotentiometer, liggend, 10 x 15 mm
R7	lineaire potentiometer, mono, 5 kΩ
R10	0,47 Ω, 10 W, draadgewonden
R13	470 Ω, 1 W, draadgewonden
CONDENSATOREN	
C1	100 nF MKH
C2	100 µF 36 V printelco
HALFGELEIDERS	
D3	1N4148
D4	2,7 V zener, 400 mW
D5	LED, 5 mm, rood
D6	LED, 5 mm, groen
T1,T2,T3	BC107
T4	BC140
T5	BD242
IC1	7805
IC2	3140, mini-DIL
DIVERSEN	
1	tuimelschakelaar, 1 x AAN/UIT
1	IC-voetje, 8 pennen
4	printsoldeerlipje
1	koelprofiel SK79, 75 mm
8	15 mm afstandsbusje
4	M3x35 boutje
4	M3 moertje

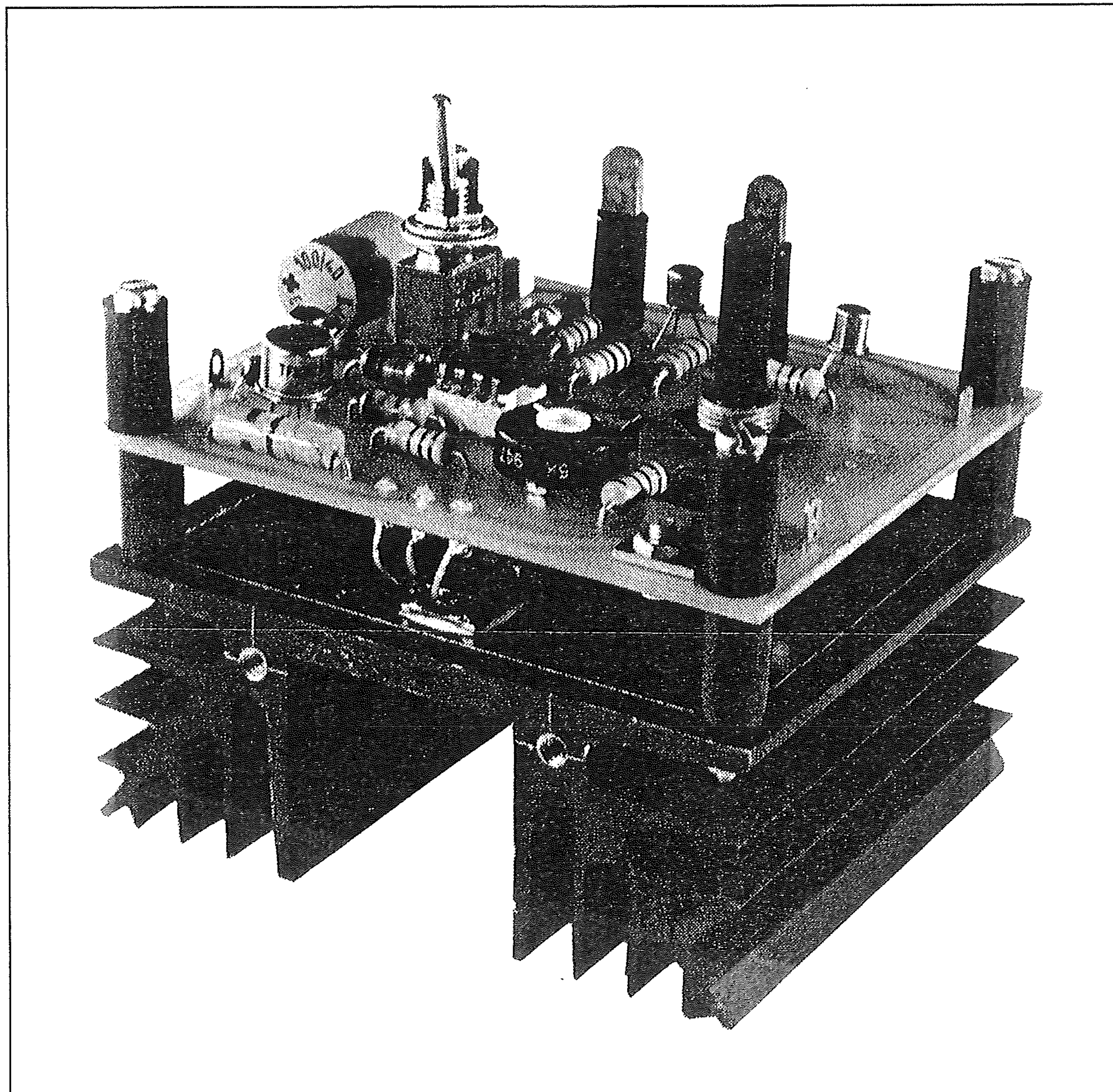
13.11 Universele stroombegrenzer

tot de "minimum standaard voorraad" van iedere hobbyist behoort. In principe kan men natuurlijk ook een 78M05 of zelfs een 78L05 toepassen, er worden immers geen eisen gesteld aan de stroomcapaciteit van het onderdeel.
Tot slot geeft figuur 4/13.11-5 een impressie van de compleet gemonteerde schakeling.



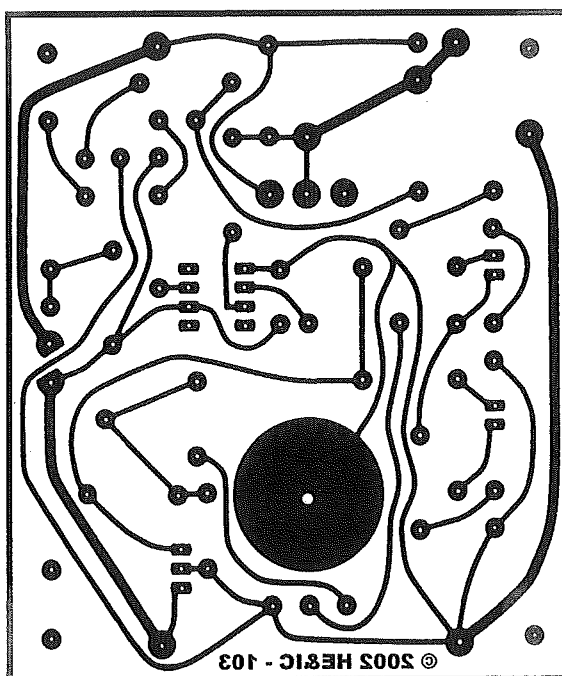
Figuur 4/13.11-4: De componentenopstelling van de schakeling.

13.11 Universele stroombegrenzer



Figuur 4/13.11-5: De compleet gemonteerde schakeling.

13.11 Universele stroombegrenzer



Figuur 4/13.11-3: De print voor de schakeling.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

U gaat naar **www.vego.nl/hobby** en selecteert uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: GRATIS bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

13.11 Universele stroombegrenzer

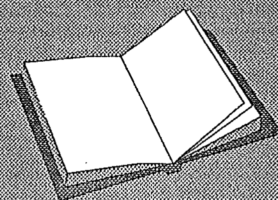
4/13.12

Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA

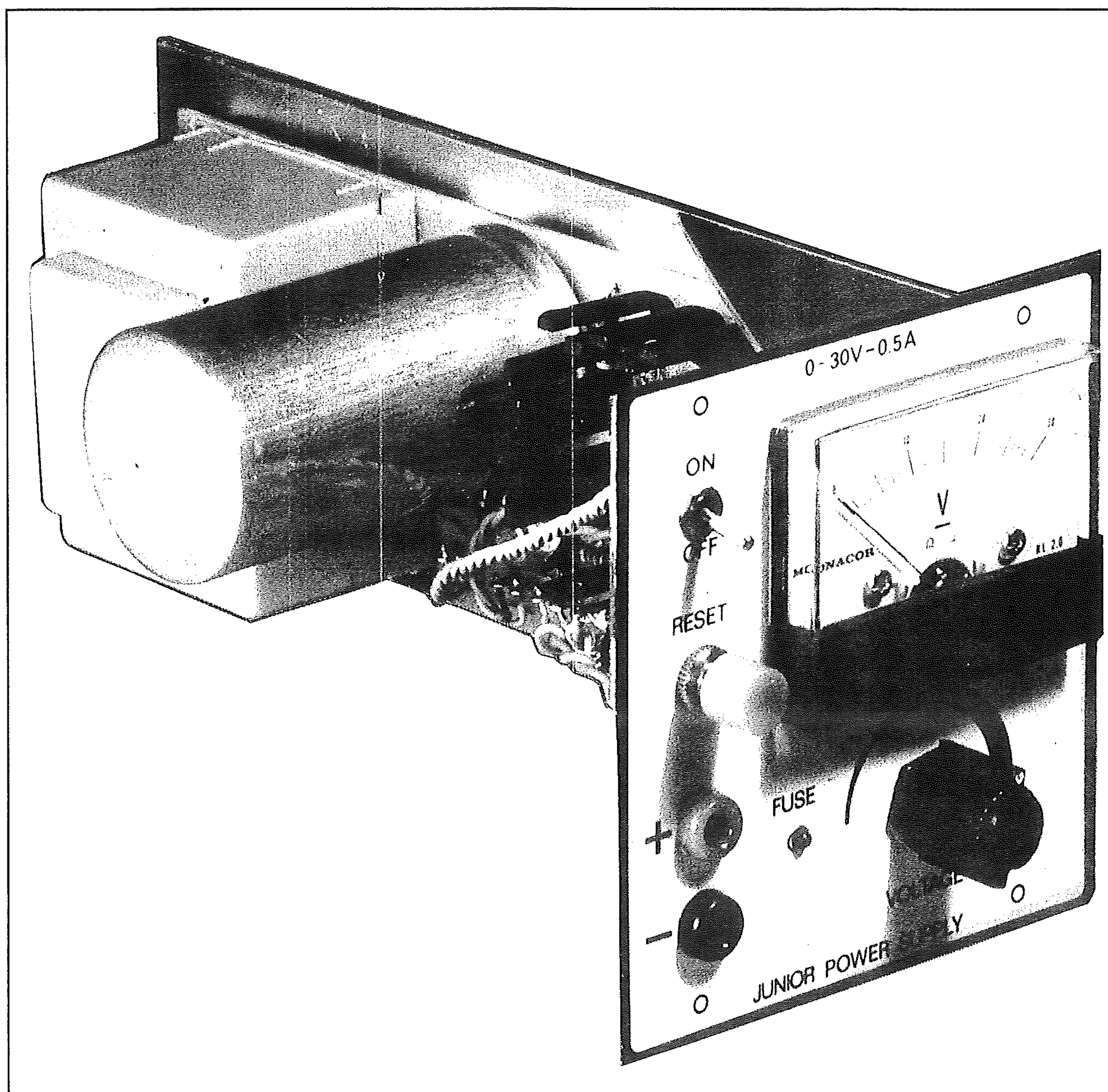
Inleiding
Wie zich slechts af en toe bezig houdt met het experimenteren met elektronica, komt snel tot het besluit dat een regelbare voeding een onontbeerlijk instrument is, wil men zich niet arm kopen aan batterijen. Vandaar dan ook dat voedingen wel het meest beschreven soort laboratorium apparatuur is, dat bestaat. De moderne elektronica biedt een onvoorstelbaar groot aantal mogelijkheden voor het opbouwen van een regelbare en gestabiliseerde voeding. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de ontwerpers elkaar pogen te overtreffen in het beschrijven van de beste, de stabielste en de bromvrijste voeding. Hoewel toegegeven moet worden dat de extra elektronica, nodig voor al deze super eigenschappen nauwelijks is terug te vinden in de prijs van het ontwerp (een voeding heeft nu eenmaal een dure trafo, een meter en een grote elco nodig), kan toch de vraag gesteld worden of deze eigenschappen noodzakelijk zijn voor een voeding die alleen maar bedoeld is voor het af en toe voeden van experimentele schakelingen in de doe-het-zelf sfeer. Dat is zonder meer niet het geval en vandaar dan ook deze "Junior voeding" die niets meer bevat dan de allernoodzakelijkste elektronica voor het opbouwen van een regelbare en redelijk gestabiliseerde voeding die volledig voldoet aan alle eisen die een beginnende elektronica doe-het-zelver aan een voeding kan stellen. Deze eenvoudige opbouw heeft wel als voordeel dat iedereen die enige basisbegrippen van de elektronica kent, de werking van ieder onderdeel van dit ontwerp kan begrijpen wat de pret bij de bouw bevordert. Bovendien kan men de schakeling nabouwen tot een attractief uitziend apparaatje, zie figuur 4/13.12-1, dat zeer zeker niet misstaat op de hobbytafel.

Het principe van de gestabiliseerde voeding
De werking van de "Junior voeding" berust op twee uiterst eenvoudig te verklaren elektronische principes. Het eerste is dat de spanning over een zenerdiode zeer constant is en dat die spanning nog veel constanter blijft, als men door de zenerdiode een constante stroom stuurt.

LEES OOK:
Hoofdstuk 4/13.1
Hoofdstuk 4/13.6



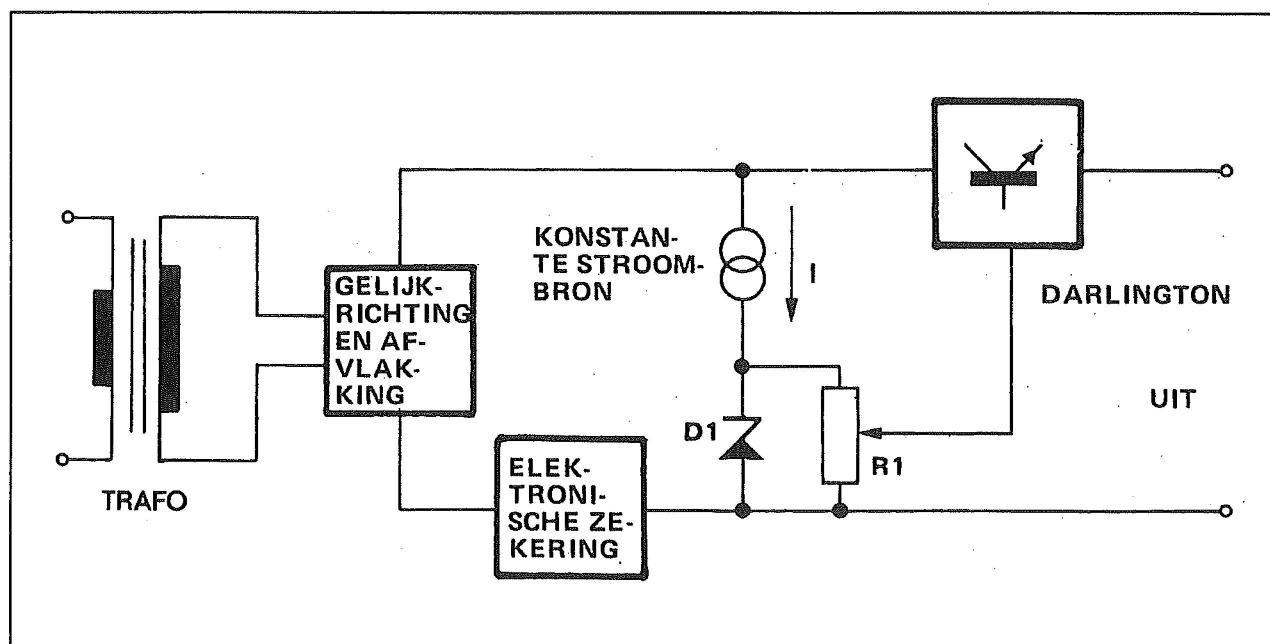
13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



Figuur 4/13.12-1: De "Junior voeding" kan tot een attractief apparaatje worden opgebouwd.

Het tweede principe is dat de spanning tussen basis en emitter van een geleidende transistor zo goed als constant is, namelijk 0,7 V. Aan de hand van het blokschema van figuur 4/13.12-2 kan verklaard worden, hoe men met deze twee uitgangspunten een goede regelbare voeding kan opbouwen. De wisselspanning van de secundaire van een voedingstrafo wordt op de gebruikelijke manier gelijkgericht en afgevlakt. De ruwe gelijkspanning, die achter de afvlakking ontstaat, is in de eerste plaats niet regelbaar, in de tweede plaats vertoont deze spanning nog veel te veel brom en in de derde plaats zal deze spanning zeer in grootte variëren in functie van de stroom, die uit de voeding betrokken wordt.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



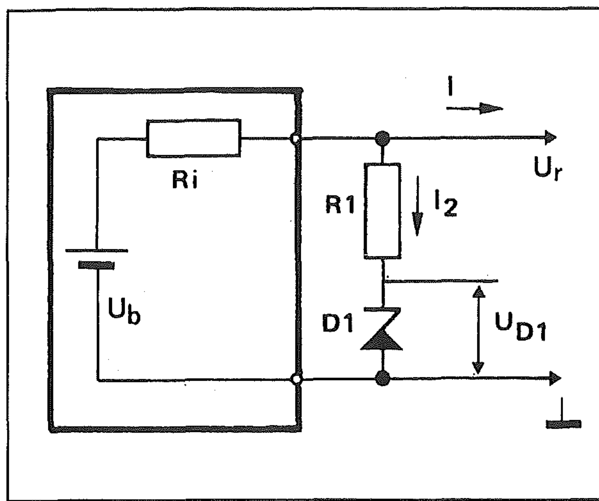
Figuur 4/13.12-2: Het blokschema van de "Junior voeding".

De secundaire wikkeling van de trafo heeft immers een bepaalde weerstand en die weerstand slokt een groot gedeelte van de beschikbare spanning op als er, ten gevolge van het vloeien van stroom, een spanningsval over deze inwendige weerstand ontstaat. Uit deze alles behalve ideale spanning kan echter wel vrij eenvoudig een constante, bromvrije spanning afgeleid worden. Zoals men weet heeft een zenerdiode een zeer speciale karakteristiek. De spanning over het onderdeel varieert erg weinig, als de stroom door de diode verandert. Toch blijkt in dit geval deze eigenschap niet voldoende voor het opwekken van een constante spanning. Vandaar dat de zenerdiode gevoed wordt uit een constante stroombron, zodat de stroom door de diode constant blijft. Dan is men er zeker van, dat ook de spanning over het onderdeel constant blijft. Over de zenerdiode staat een potentiometer. Afhankelijk van de stand van de loper van dat onderdeel, zal op het middencontact een spanning staan met als uiterste grenzen 0 V en de zenerspanning. Deze regelbare spanning wordt aan de basis van een transistor aangeboden. Deze halfgeleider is geschakeld als emittervolger, dus met de collector aan de voedingsspanning en de emitter aan de uitgang. Door het feit dat de spanning tussen basis en emitter zo goed als constant is in functie van de stroom die door de halfgeleider vloeit, zal de spanning op de emitter gelijk zijn aan de basisspanning, minus het constante bedrag U_{be}. Gevolg is dat de uitgangsspanning van de voeding gelijk is aan de met de potentiometer ingestelde spanning, minus de U_{be} van de transistor en dat die uitgangsspanning voldoende stabiel is voor huis-, tuin- en keukentoepassingen. Omdat de transistor wel als stroomversterker optreedt, zal de aan de uitgang van de voeding te leveren belastingsstroom (dat is ook de emitterstroom van de transistor) een veelvoud zijn van de stroom, die via de potentiometer in de basis vloeit.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA

Het opwekken van een constante spanning over een zenerdiode

Normaliter wordt een constante spanning verkregen door het via een weerstand polariseren van een zenerdiode, zoals getekend in figuur 4/13.12-3.



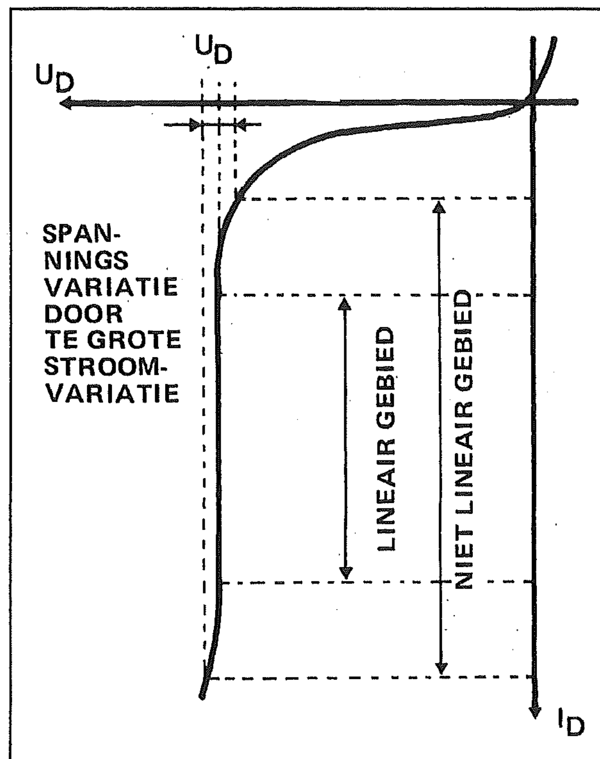
Figuur 4/13.12-3: De gebruikelijke manier waarop over een zenerdiode een constante spanning ontstaat.

Deze stroom I_2 wordt onttrokken uit een ongestabiliseerde voeding, in de meeste gevallen opgebouwd uit de secundaire van een trafo, een bruggelijkrichter en een elco. In figuur 4/13.12-3 is zo'n voeding voorgesteld door een ideale spanningsbron U_b, in serie geschakeld met een weerstand R_i. Deze laatste stelt de inwendige weerstand van de voeding voor. Deze is opgebouwd uit de weerstand van de draad van de trafo-windingen en uit de weerstand van de dioden. Als nu alleen de zenerstroom I_2 uit de ruwe voeding werd gehaald, dan was er weinig aan de hand. Men kon dan spreken van een constante belasting van de voeding, zodat ook de ruwe gelijkspanning U_r constant bleef. De stroom door de serieschakeling van R1 en D1 was dan ook constant, zodat de spanning over de zener eveneens zeer stabiel was. In de praktijk is het echter zo dat de ruwe spanning U_r ook gebruikt wordt voor het leveren van de uitgangsstroom I van de voeding. Nu zal deze stroom I zeer variëren. De ene keer wordt een klein voorversterkertje gevoed, de andere keer een schakeling met tien lampjes, om maar eens wat te noemen. Bovendien kan de verbruikersstroom opeens veranderen, denk maar aan het inschakelen van een relais in de te voeden schakeling. Als I varieert, zal ook de ruwe gelijkspanning U_r veranderen, omdat er door het variëren van de stroom ook een variërende spanning ontstaat over de inwendige weerstand R_i van de ruwe voeding. Het gevolg is dat de stroom door R1 en D1 niet meer constant is. Als de ruwe spanning daalt, door de voeding zwaarder te belasten, dan zal ook de stroom door de zenerdiode dalen. Nu heeft zo'n diode de eigenschap dat, ondanks deze variërende stroom, de spanning over de diode toch constant blijft. Er lijkt dus niets aan de hand. Maar, feit is dat de mate waarin de spanning over de zener constant blijft, aan zeer bepaalde grenzen gebonden is. Als de stroom door de diode buiten een bepaald gebied valt, zoals te zien is in figuur 4/13.12-4 (de karakteristiek van een zenerdiode), dan zal de spanning over het onderdeel toch behoorlijk variëren.

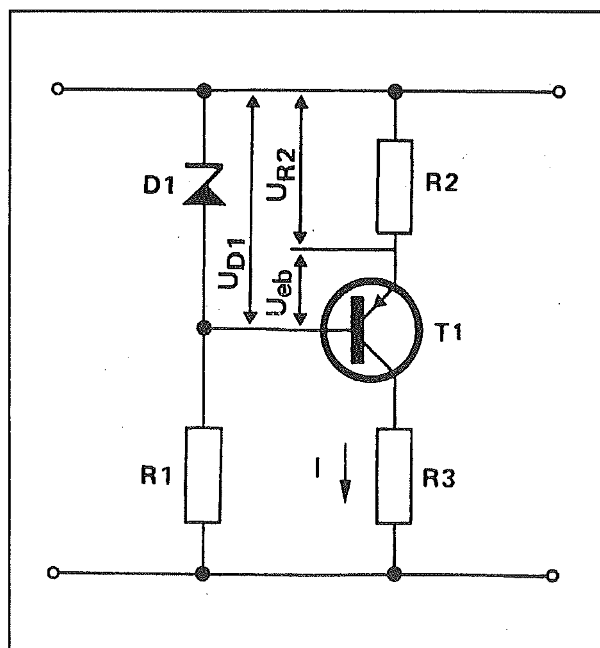
De constante stroombron

De oplossing die is gekozen is de opbouw van een eenvoudige constante stroombron, die de diode voorziet van een vrij constante stroom. Dat de eenvoud van de stroombronschakeling met zich mee brengt dat de stroom toch nog varieert, als de belasting van de voeding schommelt is niet zo erg. Men heeft nu immers twee stabilisatoren achter elkaar geschakeld.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



Figuur 4/13.12-4: De stroom/spanning-karakteristiek van een zenerdiode.

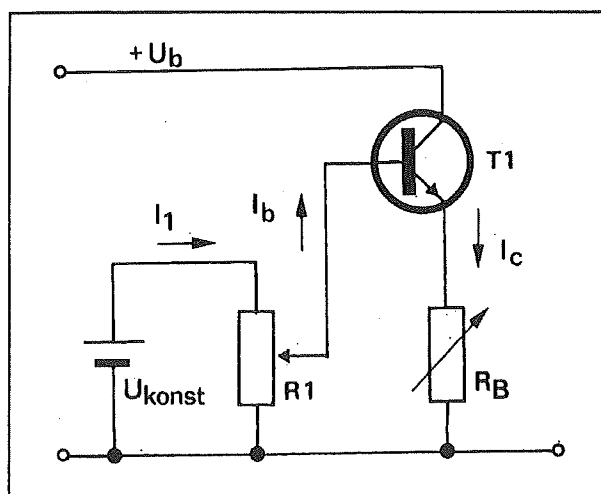


Figuur 4/13.12-5: Het schema van de stroombron.

Op de eerste plaats de stroombron, die het euvel van de grote stroomschommelingen door de zenerdiode voor het grootste deel opheft. Op de tweede plaats de zenerdiode, die de kleine stroomvariaties best kan opvangen en de spanning over zichzelf zeer constant weet te houden.
De gebruikte stroombronschakeling is getekend in figuur 4/13.12-5.
De werking van de schakeling berust op het gegeven dat een transistor de spanning tussen zijn emitter en zijn basis constant wil houden op 0,7 V. De spanning tussen de basis en de positieve voeding wordt door middel van een zenerdiode gestabiliseerd. De spanning tussen de voeding en de emitter is afhankelijk van de spanningsval over de emitterweerstand R2. Deze is recht evenredig met de stroom die door de transistor vloeit. De spanning tussen emitter en basis is gelijk aan het verschil in spanningsgrootte tussen U_{D1} en U_{R2}. De stroom door de weerstand R2 (en dus ook door de transistor en bijgevolg ook door de belasting R3) zal zich nu automatisch zo instellen, dat het verschil in spanning gelijk is aan de geleidingsspanning van 0,7 V. Wil de stroom om de een of andere reden groter worden, dan zal de spanningsval over R2 ook groter worden, met als gevolg dat het spanningsverschil tussen deze spanning en de spanning over de zener kleiner wordt. De basis-emitter spanning wordt dus kleiner en de transistor gaat minder geleiden. Het gevolg is dat de stroomstijging wordt tegengewerkt. Een transistor die minder geleidt, zal immers minder stroom doorlaten. Een daling van de stroom door de transistor zal een spanningsdaling over R2 tot gevolg hebben, zodat het verschil in spanning tussen basis en emitter groter wordt. De transistor krijgt dan meer basissturing, gaat meer geleiden, zodat de

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA

voorgenomen stroomdaling tegengewerkt wordt.
Conclusie: de stroom door de transistor is afhankelijk van de waarde van R2 en zal vrij constant blijven. Als de weerstand R3 wordt vervangen door een zenerdiode, dan zal die diode onder alle omstandigheden door een constante stroom doorlopen worden, met als gevolg dat de spanning over de diode zeer constant blijft.



Figuur 4/13.12-6: Het principe van de emittervolger die de zenerspanning "power" geeft.

De emittervolger

In de inleiding werd gesteld dat de spanning over de zenerdiode door middel van een potentiometer te regelen is tussen 0 V en de zenerspanning. Deze spanning moet echter zo bewerkt worden dat er ook nog stroom geleverd kan worden. Daar een transistor een stroomversterker is, lijkt zo 'n ding een ideale hulp om bij deze taak te helpen. In figuur 4/13.12-6 is het principe getekend. Een transistor is met de collector verbonden met de positieve spanning. De emitter is verbonden met een weerstand die de belasting van de voeding voorstelt (vandaar dat hij regelbaar is, de belasting van de voeding zal immers ook variëren). De volledige belastingsstroom van de voeding vloeit, zoals duidelijk blijkt, ook door de transistor. De basis is verbonden met de loper van een potentiometer, die op zijn beurt gevoed wordt uit een constante spanning.
De transistor is van nature een stroomversterker, dat wil zeggen dat de collectorstroom een veelvoud zal zijn van de basisstroom. De verhouding tussen beide grootheden wordt gegeven door de versterkingsfactor van de transistor. Stel dat deze gelijk is aan 100. Dan zal een collectorstroom van 1 A een basisstroom van 10 mA tot gevolg hebben. Deze basisstroom haalt de transistor uit de potentiometer. Dat wil zeggen dat de basisstroom wordt opgeteld bij de stroom I_1, die door de potentiometer vloeit als gevolg van het simpele feit dat dit onderdeel is aangesloten over de spanning U_{konst}.
Als de basisstroom klein is ten opzichte van de stroom I_1, dan zal deze extra stroom nauwelijks invloed hebben op de spanning die op de loper van de potentiometer aanwezig is. Met andere woorden: als de basisstroom erg klein is, dan zal de stroom die door de belasting van de voeding gevergd wordt, geen invloed hebben op de spanning op de basis van de transistor. Het zal duidelijk zijn dat aan deze voorwaarde het best wordt voldaan, als de versterkingsfactor van de transistor zo groot mogelijk is.
De "Junior voeding" is ontworpen voor een maximale stroom van 0,5 A. Dat betekent dat ook de transistor uit figuur 4/13.12-6 deze stroom moet kunnen verwerken. Dergelijke transistoren zijn gemakkelijk te vinden, maar het bezwaar is dat zware jongens onder de transistoren een kleine stroomversterking hebben. Dat wil zeggen dat de basisstroom toch

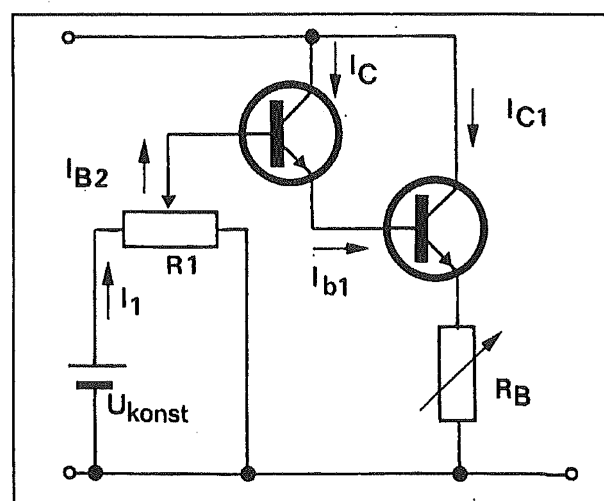
13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA

nog vrij groot zal zijn als de voeding volledig belast wordt. Het gevolg is dat deze stroom over het bovenste gedeelte van de potentiometer een spanningsval veroorzaakt, die ervoor verantwoordelijk is dat de spanning op de loper gaat dalen. Dat is erg jammer, want daardoor zal de uitgangsspanning van de voeding gaan dalen als de stroom die uit de voeding vloeit, stijgt.

De darlington

Vandaar dat het schema van figuur 4/13.12-7 wordt ingezet. Twee transistoren, die op de getekende manier achter elkaar geschakeld zijn, noemt men een darlington. De basisstroom van T2 is gelijk aan de collectorstroom van T1. Het zal duidelijk zijn dat er tussen de ingangsstroom I_{b1} en de uitgangsstroom I_{c2} nu twee versterkingsfactoren zitten: deze van T1 en deze van T2. Daar bovendien transistor T1 door een kleine stroom doorlopen wordt, kan daarvoor een laagvermogen exemplaar gebruikt worden, die een hoge versterkingsfactor heeft. De basisstroom I_{b1} die door de potentiometer vloeit zal nu zo klein zijn, zelfs bij volledige belasting van de voeding, dat de spanningsval door deze stroom veroorzaakt op de loper van de potmeter verwaarloosbaar is. De spanning op de basis van T1 is dus alleen afhankelijk van de stand van de loper van de potentiometer. Als de potentiometer uit een constante stabiele spanning wordt gevoed dan zal de spanning op de basis van T1 voldoen aan de eis die aan een voeding wordt gesteld, namelijk stabiel zijn.

Omdat er tussen basis en emitter van een geleidende transistor een vrij constante spanning van 0,7 V aanwezig is, zal dus ook de spanning op de emitter van T2 (dat is dus de uitgang van de voeding) weliswaar lager zijn dan de spanning op de loper van de potentiometer (2 x 0,7 V), maar wel constant.



Figuur 4/13.12-7: Het principe van de darlington.

Het praktisch schema van de "Junior voeding"

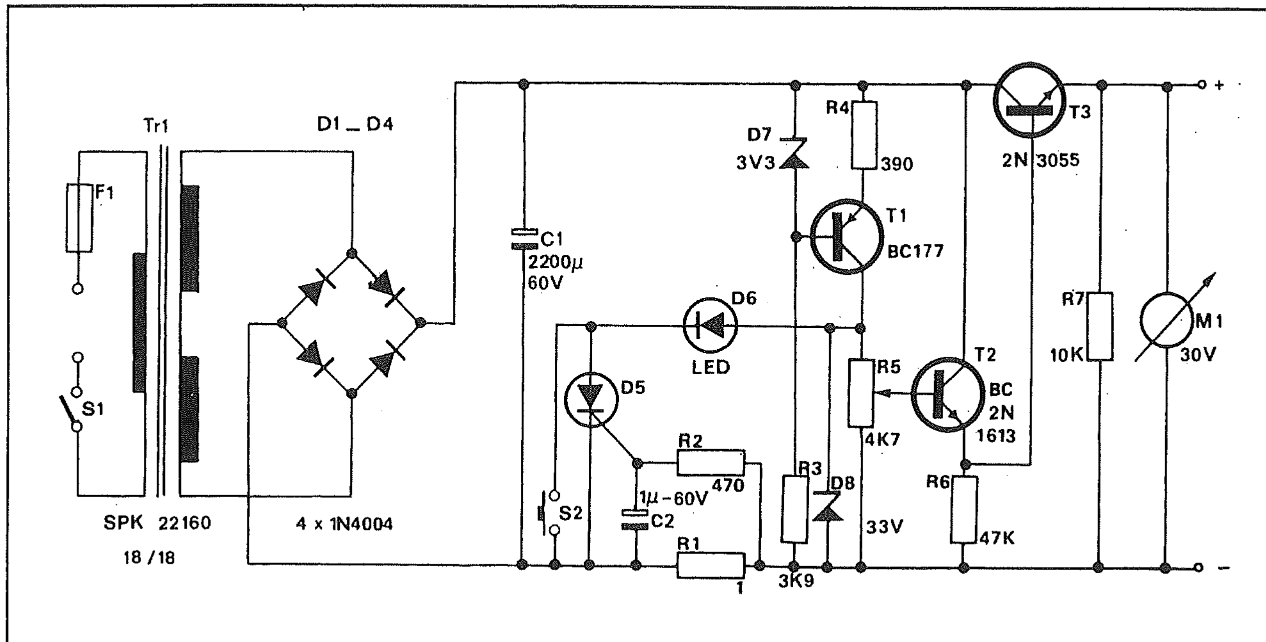
Het volledig schema van de "Junior voeding" is getekend in figuur 4/13.12-8. Zonder moeite herkent men daarin alle tot nu toe behandelde deelschema's, aangevuld met enige verfraaiingen. De secundaire trafospanning, opgebouwd uit de serieschakeling van twee 18 V wikkelingen, wordt door een brug gelijkgericht en door middel van een grote elco C1 afgevlakt. De schakeling rond T1 is de constante stroombron, die de zenerdiode D8 voorziet van een stabiele stroom van ongeveer 10 mA.

De weerstanden R6 en R7 houden de schakeling ook bij open uitgang van de voeding stabiel. Over de uitgangen kan een 30 V metertje aangesloten worden.

De elektronische zekering

Het enige dat nog besproken moet worden, is de taak en functie van de schakeling rond de thyristor D5.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



Figuur 4/13.12-8: Het volledig schema van de "Junior voeding".

Dat is de elektronische zekering. Het spreekt voor zich dat een experimenteervoeding voorzien moet zijn van een schakeling, die bij kortsluiting ofwel de stroom op een veilige waarde begrenst, ofwel de voeding dadelijk uitschakelt. In deze eenvoudige schakeling is uiteraard voor de eenvoudigste oplossing gekozen: een simpele elektronische zekering. Een thyristor is een diode die, naast een kathode en een anode ook nog een stuurelektrode, een gate, heeft. Als de spanning tussen kathode en gate groter wordt dan 0,7 V gaat de diode geleiden (als de anode positief is ten opzichte van de kathode). De diode blijft geleiden, tot men de spanning tussen anode en kathode gelijk maakt aan nul. In de stroomkring van de voeding staat de weerstand R1, met als waarde 1 Ω. Als gevolg van de wet van Ohm zal de spanning over deze weerstand recht evenredig zijn met de stroom die er doorheen loopt, dus met de stroom die uit de voeding gehaald wordt. Als deze stroom stijgt (door overbelasting of kortsluiting van de voeding) , dan zal de spanning over deze weerstand groter worden dan 0,7 V. Deze spanning staat tussen kathode en gate van D5, zodat de thyristor gaat geleiden. De anode van de thyristor is via de lichtgevende diode D6 verbonden met de kathode van de zener D8, dus met een positieve spanning. Het gevolg is dat bij kortsluiting of overbelasting van de voeding de stroom van de constante stroombron niet meer via de zenerdiode D8 naar massa vloeit, maar via de serieschakeling D5-D6. De spanning valt dan zo goed als volledig weg (ze wordt gelijk aan de som van de geleidingsspanningen van de LED en van de thyristor, ongeveer 2 V), met als gevolg dat de combinatie T2 en T3 niet meer gestuurd wordt en de uitgangsspanning van de voeding gelijk wordt aan nul. Door het branden van de LED wordt men geattendeerd op de "doorgebrande" zekering. Als men de fout hersteld heeft, dan drukt men op de schakelaar S2. De thyristor

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA

wordt overbrugd en na loslaten van de drukknop wordt de uitgangsspanning van de voeding weer gelijk aan de ingestelde waarde.

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 W, 5 %

R2	470 Ω
R3	3,9 kΩ
R4	390 Ω
R5	4,7 kΩ
R6	47 kΩ
R7	10 kΩ

WEERSTANDEN, DIVERSEN

R1	1 Ω, draadgewonden, 1 W
R5	4,7 kΩ, potentiometer, mono, lineair

CONDENSATOREN

C1	2.200 µF 60 V printelco
C2	1 µF 60 V printelco

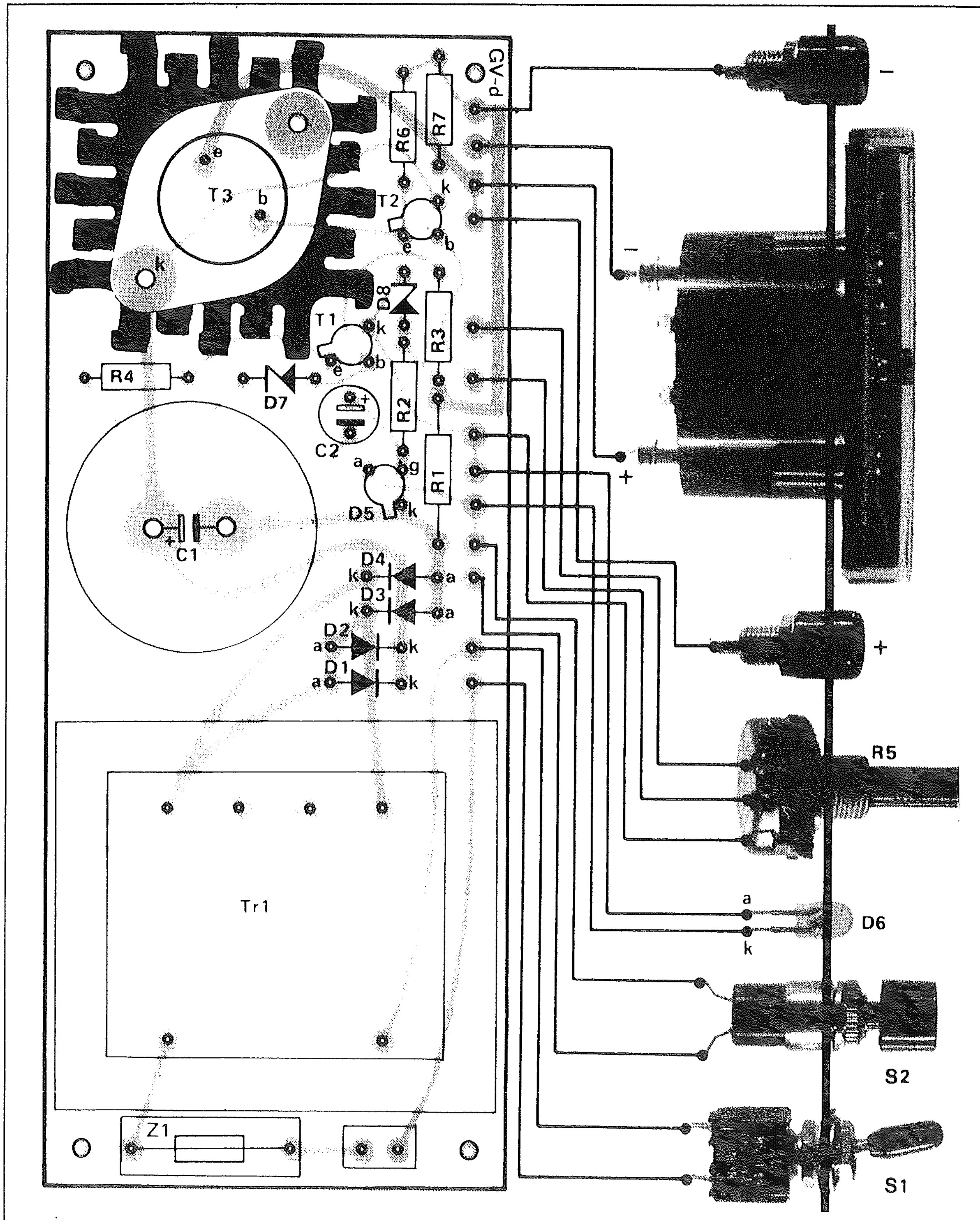
HALFGELEIDERS

D1,D2,D3,D4	1N4004
D5	thyristor, TO-5
D6	LED, 5 mm, rood
D7	3,3 V zenerdiode, 400 mW
D8	33 V zenerdiode, 400 mW
T1	BC177
T2	2N1613
T3	2N3055

DIVERSEN

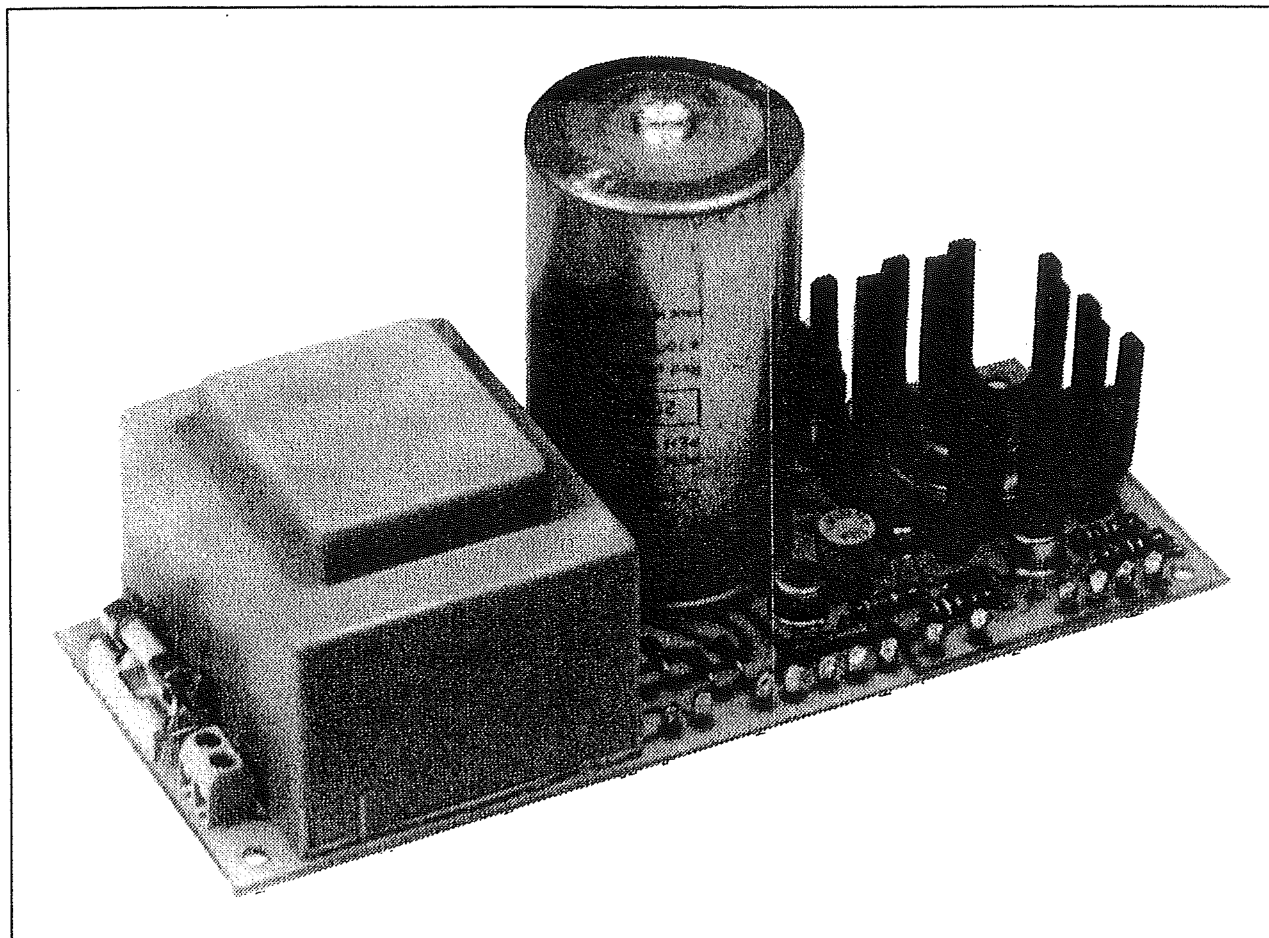
1	printtrafo, 2 x 18 V, 2 x 250 mA
1	tuimelschakelaar AAN/UIT
1	drukknop, MAAK
1	inbouwmeter, 30 V
1	printzekeringhouder
1	300 mA zekering, traag
1	koelspin voor TO-3
1	knop voor 6 mm as
2	stekkerbus, 4 mm
4	afstandsbusje, 10 mm
2	M3x10 boutje
4	M3x20 boutje
6	M3 moertje
1	printkroonsteentje
13	printsoldeerlipje
1	trekontlasting voor netsnoer
1	netsnoer met aangegoten steker

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



Figuur 4/13.12-10: De componentenopstelling en de bedrading van de print.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



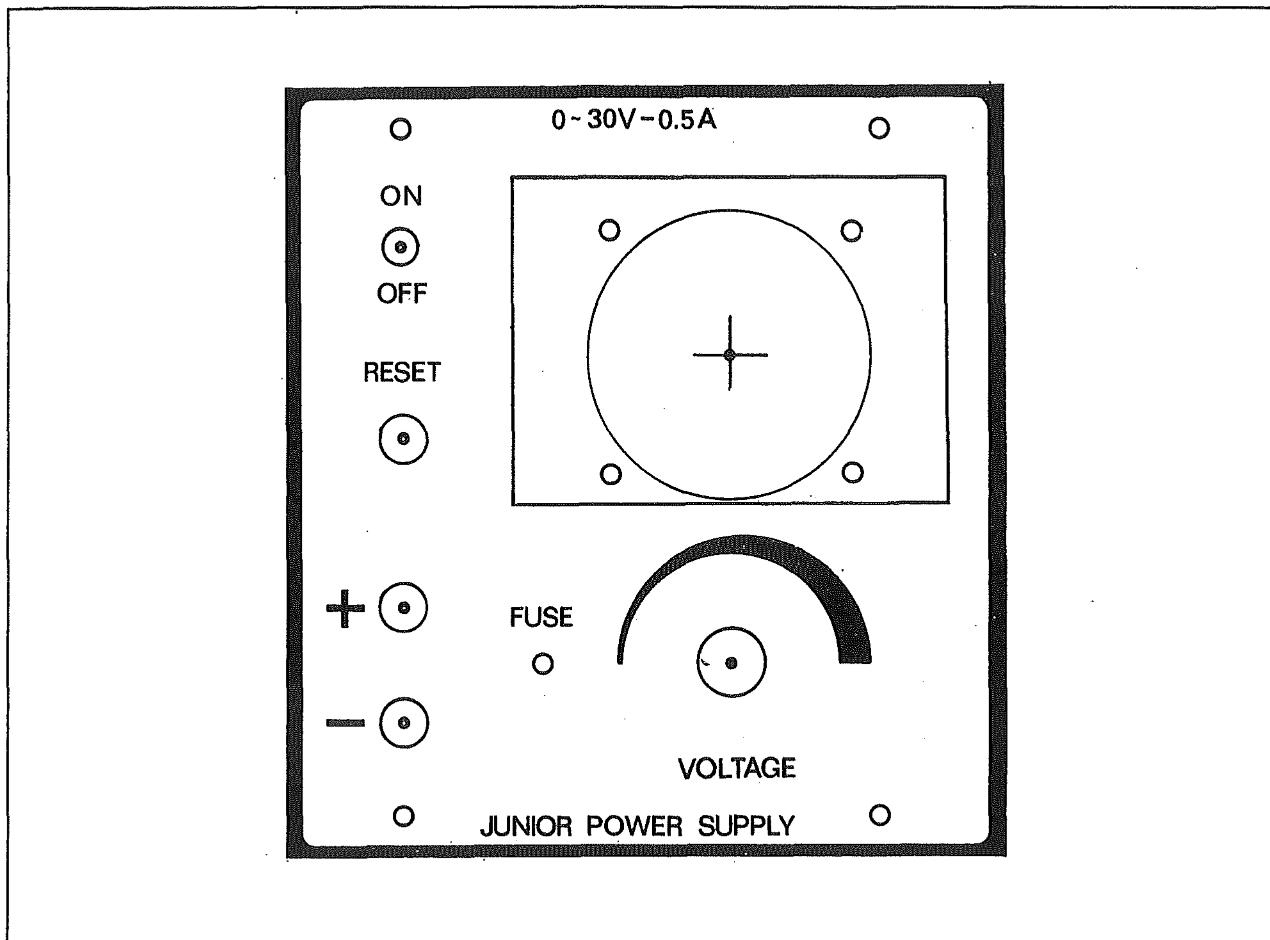
Figuur 4/13.12-11: De compleet gemonteerde print.

De bouw van de voeding

De print van de voeding is getekend op de allerlaatste pagina van dit hoofdstuk als figuur 4/13.12-9. De plaats van de onderdelen volgt uit figuur 4/13.12-10. In deze figuur is meteen de volledige externe bedrading weergegeven.

De montage van weerstanden, dioden en elco's zal geen problemen met zich mee brengen. De gebruikte thyristor is een type voor lage stroom en heeft dezelfde behuizing als de 2N1613 transistor. Het nokje op het huis geeft de draad aan, die intern verbonden is met de kathode. De middelste aansluiting is de gate, de laatste de anode. De vermogenstransistor T3, een 2N3055, moet samen met een koelspin op de print geschroefd worden. Let er daarbij op dat de basis- en emitteraansluitingen, die door de gaatjes van het koelprofiel steken, geen sluiting maken met het aluminium van dat profiel! De collector, die verbonden is met het huis van de transistor, moet goed contact maken met het koperen eilandje op de print. Aanbevolen wordt de moer, waarmee men de transistor-koelblik combinatie op de print vastschroeft, ook nog eens op het koperen eilandje te solderen. De grote elco C1 kan voor problemen zorgen, omdat er zeer uiteenlopende uitvoeringen in de handel zijn.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



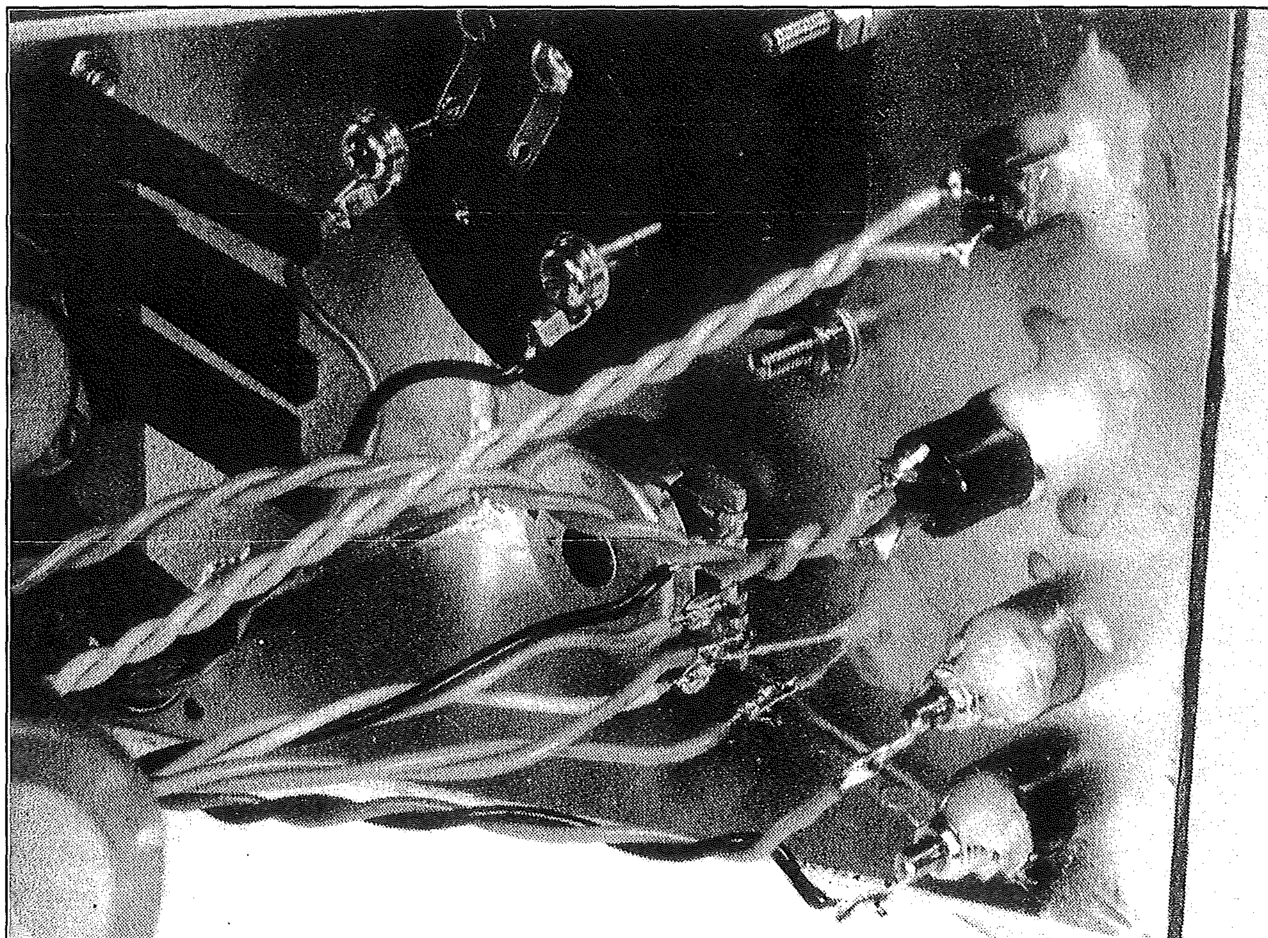
Figuur 4/13.12-12: Een ontwerpje voor het frontje van de "Junior voeding" op ware grootte.

Zoals uit de foto van figuur 4/13.12-11 blijkt is het de bedoeling, dat deze condensator rechtop op de print wordt bevestigd. De aansluitlipjes worden door de grote gaten van de print geduwd, omgebogen op de grote koperen eilandjes en vastgesoldeerd. Voor condensatoren, die een andere afstand tussen de aansluitlipjes hebben, moeten een of twee extra gaatjes in de print geboord worden.
De trafo in het prototype is van Spitznagel en wel type SPK 22160 18/18. Dit model heeft twee bevestigingssteunen. Deze vallen buiten de print, zodat ze net zo goed afgesneden kunnen worden. Naast de trafo is plaats voor een printkroonsteentje voor het aansluiten van het netsnoer. Twee soldeerlipjes voldoen natuurlijk even goed.

De eindmontage van de "Junior voeding"

Nadat de print volledig bestukt is, moet er heel wat bedradingswerk uitgevoerd worden. Eerst moet echter even gedacht worden aan een kastje, waarin de voeding ondergebracht wordt. Het kastje van het prototype werd vervaardigd uit drie stukken epoxy-print, die op elkaar werden gesoldeerd. De montage, zoals deze op de foto van figuur 4/13.12-1 te zien is, heeft als voordeel dat de voeding erg weinig plaats op een werktafel inneemt, omdat de voeding in de diepte is uitgebouwd.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



Figuur 4/13.12-13: Een deel van de bedrading tussen de print en de componenten op de frontplaat. Door de draden te twisten ontstaat een net resultaat.

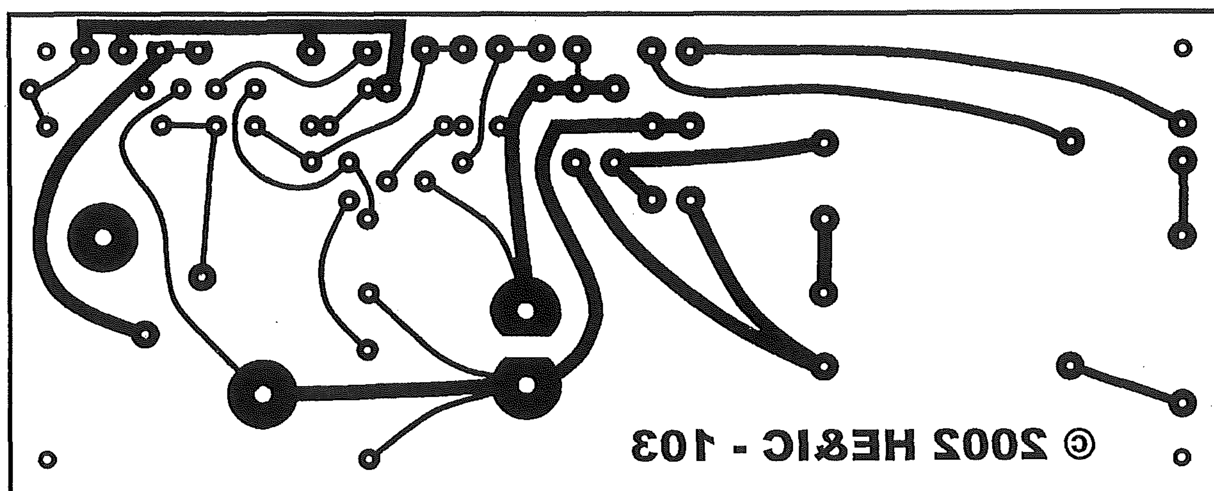
Uiteraard kan de voeding in een willekeurig in de handel te koop kastje worden ingebouwd. Eerst moeten alle gaten voor de bedieningselementen, het metertje en de uitgangen worden geboord, alsmede gaatjes voor de bevestiging van de print op de bodem van het kastje. Een ontwerpje van het frontje is getekend in figuur 4/13.12-12. Nadien kunnen alle onderdelen op en in het kastje bevestigd worden. De bedrading is getekend in figuur 4/13.12-10. Veel problemen zal dit niet geven. De dertien soldeerlipjes op de print moeten allen met slechts één extern punt verbonden worden, wat de bedrading wel overzichtelijk houdt. In totaal moeten dus 13 draadjes gesoldeerd worden. In figuur 4/13.12-13 is een deel van de bedrading gefotografeerd.

Het gebruik van de voeding

De voeding zal, ondanks zijn eenvoud, in de praktijk blijken prachtig te voldoen. Door de temperatuursinvloeden op de zenerdiode en de transistoren zal men opmerken dat de instelling van de uitgangsspanning in "koude" toestand iets zal wijzigen na verloop van enige tijd. De brom en ruis op de uitgangsspanning zijn erg goed. Gemeten werd, bij vollast, een waarde van 50 mV. De uitgangsspanning daalt, bij vollast, afhankelijk van de uit-

gangsspanning en het fabrikaat van de zenerdiode ongeveer 150 mV.
Tot slot een opmerking over de koeling van de eindtransistor. De koeling met een koelspin zal uitstekend voldoen als maar niet te lang 0,5 A bij 5 V van de voeding wordt gevraagd. Dan valt het grootste gedeelte van de ruwe gelijkspanning over de transistor en moet deze heel wat warmte kwijt. Wie dat toch wil, moet de 2N3055 van de print halen en hem met een zo groot mogelijke koelplaat elders in het kastje bevestigen.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA



Figuur 4/13.12-9: De print voor de schakeling.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

U gaat naar **www.vego.nl/hobby** en selecteert uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: GRATIS bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

13.12 Junior voeding, 0 - 30 V, 500 mA

4/13.13

Symmetrische spanningen uit één voeding

Inleiding

Goede voedingen met een spanningsbereik van 0 V tot 30 V en een instelbare kortsluitstroom zijn tegenwoordig zo goedkoop, dat zelfbouw niet eens meer loont.
Zo levert "Voltcraft" een 30 V bij 2,5 A voeding met twee ingebouwde metertjes voor ongeveer EUR 100,00! De meeste doe-het-zelvers hebben dus hun oude, zelfgebouwde 20 V bij 1 A voeding al lang geleden ingeruild voor zo 'n industriële krachtpatser. Met de hier beschreven schakeling kan men het asymmetrische gedrag van die voeding omzetten in een symmetrische werking.

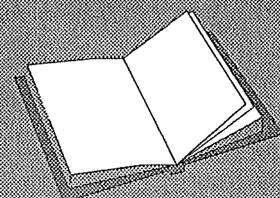
Symmetrische schakelingen

Helaas blijken er steeds meer analoge schakelingen geen genoegen te nemen met een enkelvoudige voeding. Veel schakelingen worden volledig met operationele versterkers opgebouwd. Een van de schakeltechnische sterke punten van een op-amp, waar men op veel gebieden handig gebruik van kan maken, is het feit dat zo'n onderdeel een verschilversterker is. Door één van de ingangen aan de massa te leggen, het signaal aan de tweede ingang aan te bieden en de op-amp symmetrisch te voeden vervallen een heleboel onderdelen. Men hoeft de schakelingen dan immers niet meer in te stellen op de helft van de voedingsspanning, hetgeen twee weerstanden per trap scheelt. Bovendien kan men de uitgang van de ene trap rechtstreeks koppelen met de ingang van de volgende. Dat spaart grote scheidingscondensatoren en verbetert de frequentie- en faseweergave van een schakeling.
De meeste op-amp schakelingen worden gevoed uit twee symmetrische spanningen van ±12 V of ±15 V. Dat ligt dus keurig in het bereik van de genoemde commerciële voedingen. Helaas heeft zo'n voeding maar twee uitgangen, een plus en een min, terwijl men voor het voeden van symmetrische schakelingen naast de plus ($+U_b$) en de min ($-U_b$) ook nog een massa moet hebben.

Voedingssplitser

Met de in dit hoofdstuk beschreven kleine schakeling kan men het asymmetrische gedrag van de hoofdvoeding omzetten in een symmetrische werking. De schakeling creëert een kunstmatig nulpunt in het

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/12.1
Hoofdstuk 3/12.2
Hoofdstuk 4/13.3



13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding

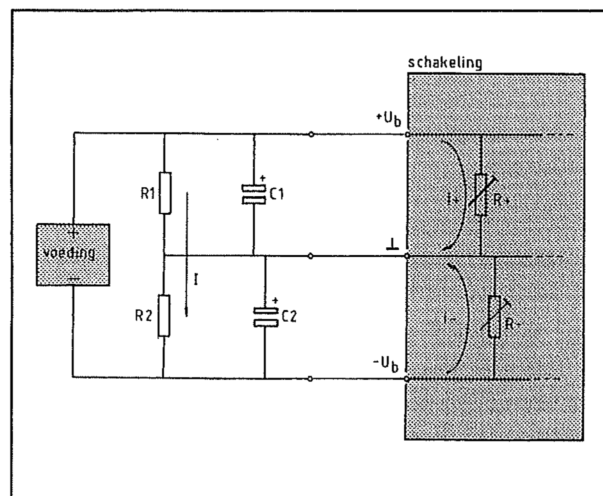
midden van het uitgangsspanningsbereik. Dat kunstmatig nulpunt wordt de "massa" van de symmetrische uitgangen. De enkelvoudige spanning wordt daardoor omgezet in twee volledig symmetrische spanningen waarvan de grootte uiteraard gelijk is aan de helft van de uitgangsspanning van de voeding.
De voedingssplitser wordt opgenomen tussen de hoofdvoeding en de te voeden schakeling. Als men behoefte heeft aan een symmetrische voeding van ±12 V stelt men de hoofdvoeding in op 24 V. De splitser doet de rest!

Uitgangsstroom

Een belangrijk gegeven is uiteraard de stroom die de splitser kan leveren.
Deze is niet een-twee-drie te definiëren omdat dit van een aantal factoren afhankelijk is. Als de schakeling die gevoed wordt beide voedingsspanningen even veel belast, dan kan de voedingssplitser ongeveer 2 x 250 mA leveren. Voedt men echter een schakeling die veel meer stroom trekt uit de positieve voeding dan uit de negatieve, dan moet de splitser zélf heel wat stroom consumeren om de symmetrie in stand te houden. De maximaal te leveren stroom daalt dan aanzienlijk.

Het principe

Het basisprincipe van de werking van de schakeling is getekend in figuur 4/13.13-1. In wezen verschilt dit niet van de manier waarop bijvoorbeeld een transistor wordt ingesteld. Tussen de twee uitgangen van de voeding wordt een spanningsdeler R1/R2 geschakeld, samengesteld uit twee identieke kleine weerstanden. De stroom I die door deze deler vloeit heeft tot gevolg dat over beide weerstanden even veel spanning valt. Als men nu het knooppunt van beide weerstanden de "massa" noemt zal men tussen dit punt en de bovenkant van R1 een positieve spanning meten die gelijk is aan de helft van de uitgangsspanning van de voeding. Tussen deze "massa" en de onderkant van weerstand R2 meet men een negatieve spanning die ook precies gelijk is aan de helft van de uitgangsspanning van de voeding.



Figuur 4/13.13-1: Het principe van de spanningssplitser.

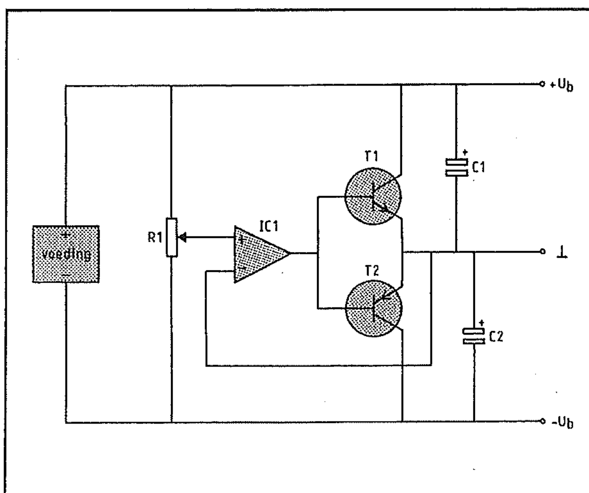
Als men over de resistieve deler twee grote condensatoren C1 en C2 schakelt, dan zijn beide uitgangsspanningen voor wisselspanningssignalen goed ontkoppeld en lijkt het alsof zowel de $+U_b$ als de $-U_b$ voor het signaal aan de massa ligt.
De spanningsdeler wordt uiteraard belast door de te voeden schakeling. Deze kan men, zoals getekend in het schema, voorstellen door twee instelbare weerstanden R+ en R-, die de belastingsweerstanden van de totale schakeling voor de positieve en de negatieve voeding voorstellen. Er gaan twee stromen I+ en I- vloeien, met als gevolg dat de spanningsdeler R1/R2 belast wordt. Als I+ en I- niet precies aan elkaar gelijk zijn heeft dit tot gevolg dat de

13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding

spanning zich niet mooi symmetrisch over beide weerstanden verdeelt. $+U_b$ kan dan groter worden dan $-U_b$ hetgeen zeer duidelijk niet de bedoeling is.

De elektronische regeling

Het geschetste probleem zou opgelost kunnen worden door R1 en R2 regelbaar te maken en door de onderlinge verhouding van beide onderdelen aan te passen aan de asymmetrische belasting. Als bijvoorbeeld de $+U_b$ (in absolute waarde) kleiner zou worden dan de $-U_b$, dan zou men deze asymmetrie kunnen compenseren door R1 kleiner te maken dan R2. Dat is precies wat er gebeurt in de schakeling van figuur 4/13.13-2.



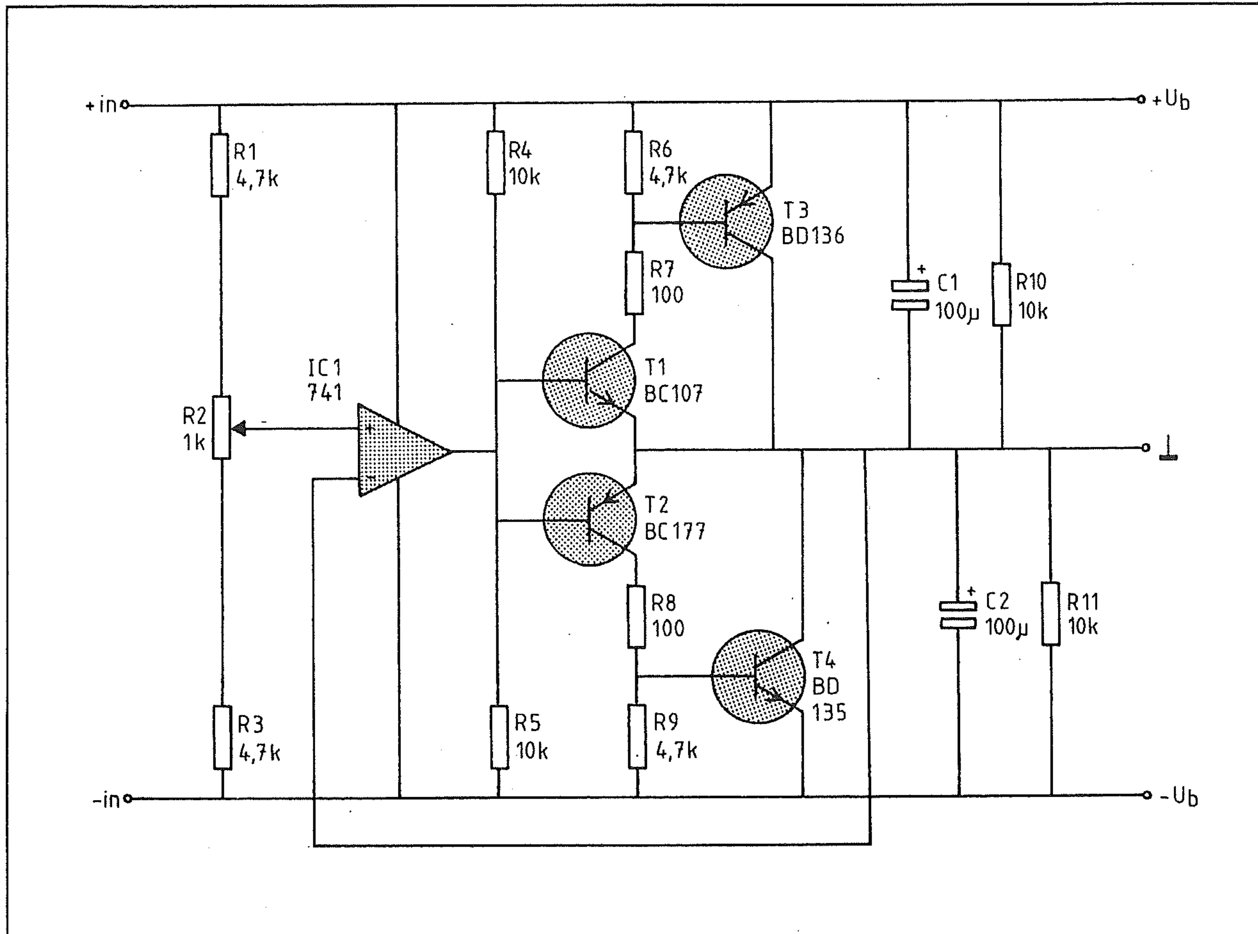
Figuur 4/13.13-2: Een elektronische regeling houdt de symmetrie in stand.

De twee weerstanden R1 en R2 zijn vervangen door de transistoren T1 en T2. Zoals bekend kunnen transistoren opgevat worden als regelbare weerstanden. De inwendige weerstand hangt af van de mate van geleiding, dus van de basissturing. Beide transistoren worden gestuurd door een operationele versterker IC1. Deze wordt op de niet-inverterende ingang door middel van de instelpotentiometer R1 ingesteld op de helft van de uitgangsspanning van de voeding. De inverterende ingang is rechtstreeks verbonden met de "massa" op de uitgang.
De op-amp zal er naar streven het spanningsverschil tussen zijn beide ingangen nul te maken. Het gevolg is dat de schakeling zichzelf zo instelt, dat ook de inverterende ingang en dus de "massa" op precies de helft van de uitgangsspanning van de voeding komt te staan.
Als de uitgangen asymmetrisch belast worden, wil het potentiaal op de "massa" heen en weer gaan zwalken rond de gewenste waarde. Het gevolg is dat er een spanningsverschil ontstaat tussen de twee ingangen van de op-amp. Afhankelijk van de ongelijkheid in belasting tussen $+U_b$ en $-U_b$ zal dit spanningsverschil positief of negatief zijn. De op-amp stuurt nu een van beide transistoren minder of meer in geleiding, waardoor de weerstandsverhouding tussen beide halfgeleiders wordt aangepast aan de asymmetrische belasting.
Binnen het regelbereik van het systeem worden ongelijke belastingen dus gecompenseerd en blijft het potentiaal op de "massa" precies op de helft tussen $+U_b$ en $-U_b$ staan. De transistoren worden zover in geleiding gestuurd dat de ongelijke belastingsstromen van de te voeden schakeling worden geëgaliseerd. Vandaar dat de maximale stroomcapaciteit van de splitser afhankelijk is van de te voeden schakeling. Als deze twee even grote stromen uit $+U_b$ en $-U_b$ trekt, moeten de transistoren niet compenseren en wordt de stroomcapaciteit in feite alleen bepaald door de stroomcapaciteit van het voedingsapparaat.

Het praktisch schema

Het praktisch schema is voorgesteld in figuur 4/13.13-3.

13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding



Figuur 4/13.13-3: Het praktisch schema van de voedingssplitser.

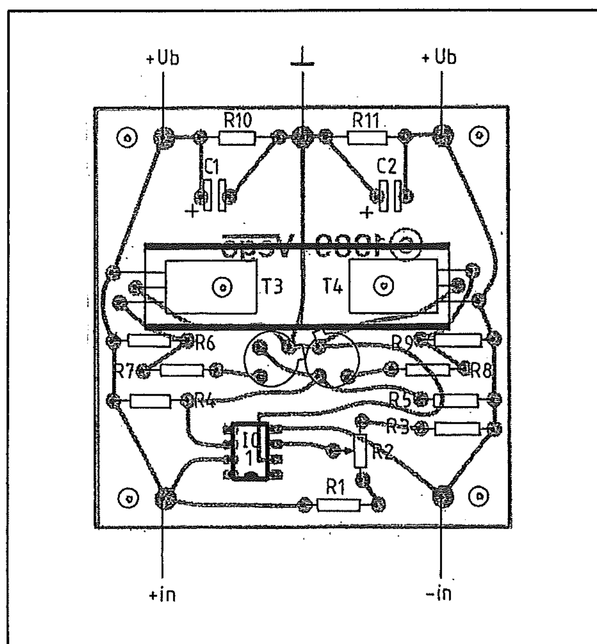
Dit wijkt alleen van het principeschema af in de manier waarop de operationele versterker de transistoren aanstuurt. Beide transistoren zijn vervangen door NPN/PNP-combinaties. Deze structuur heeft een zeer grote stroomversterking, zodat de operationele versterker minimaal wordt belast en het systeem een groot regelbereik heeft.
Met de instelpotentiometr R2 moet men de symmetrie aan de uitgang éénmalig instellen. Is dat in orde, dan past de schakeling zich automatisch aan aan de grootte van de ingangsspanning en aan de groote van de uitgangsstromen.

De bouw
De schakeling is, met behulp van de print lay-out van figuur 4/13.13-4 op de laatste pagina van dit hoofdstuk en aan de hand van de componentenopstelling van figuur 4/13.13-5 in een half uurtje nagebouwd. Alles is zo recht toe recht aan dat nadere toelichting volstrekt overbodig is! De foto van figuur 4/13.13-6 geeft een impressie van de compleet gemonteerde print.

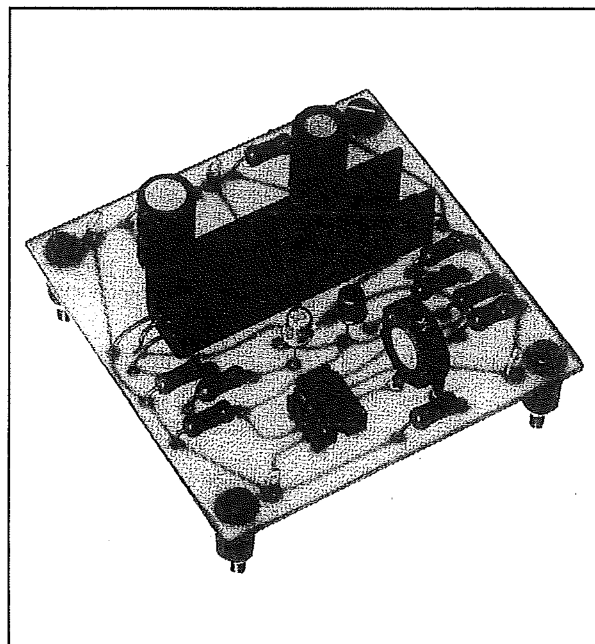
13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding

ONDERDELENLIJST

WEERSTANDEN, 1/4 w, 5 %	
R1,R3,R6,R9	4,7 kΩ
R4,R5	10 kΩ
R7,R8	100 Ω
R10,R11	10 kΩ
INSTELPOTENTIOMETER, STAAND, 10 X 5 mm	
R2	1 kΩ
CONDENSATOREN	
C1,C2	100 μF 25 V printelco
HALFGELEIDERS	
T1	BC107
T2	BC177
T3	BD136
T4	BD135
IC1	741, mini-DIL
DIVERSEN	
1	IC-voetje, 8 pennen
2	U-vormig koelplaatje voor BD...
5	printsoldeerlipje

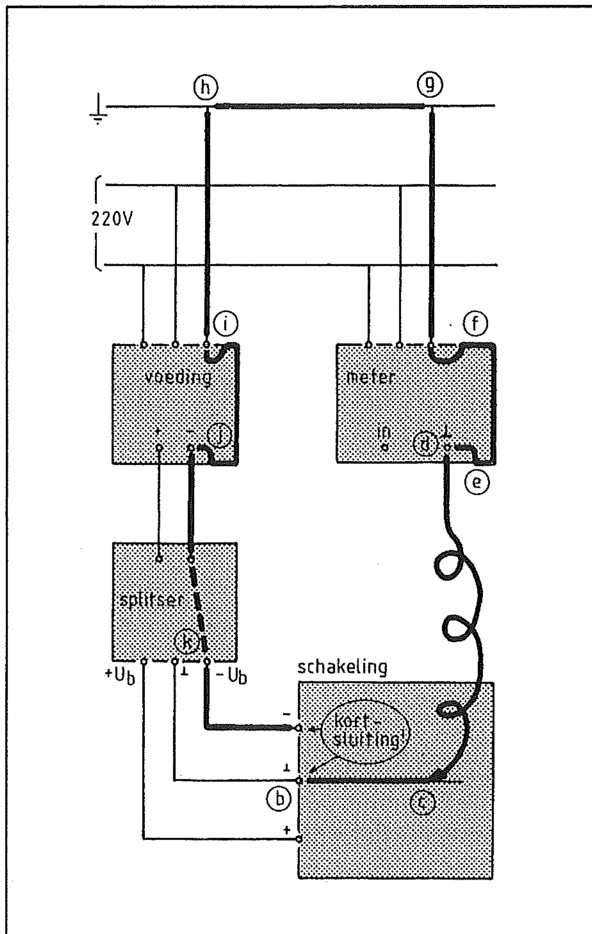


Figuur 4/13.13-5: De componentenopstelling van de schakeling.



Figuur 4/13.13-6: De compleet gemonteerde print.

13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding

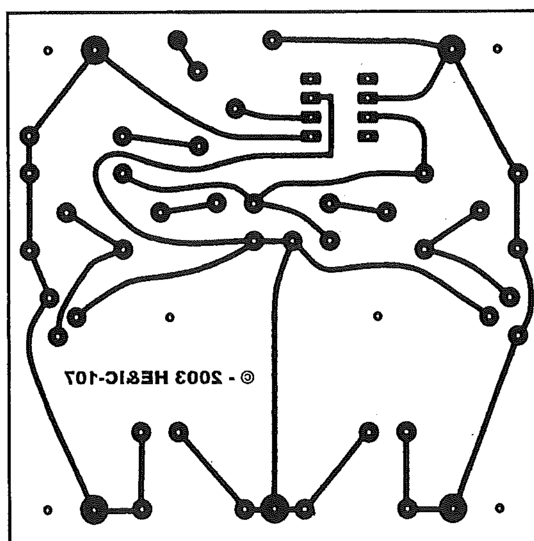


Figuur 4/13.13-7: Waarom met moet oppassen met geaarde apparatuur.

Belangrijke opmerking

Bij het werken met de voedingssplitser mogen de hoofdvoeding en eventuele meetapparatuur waarmee men in de te voeden schakeling meet niet geaard zijn! Wat er kan gebeuren is geschetst in figuur 4/13.13-7. Meestal wordt de min van een voeding via het chassis met de aarding verbonden. Als nu ook een meetinstrument, bijvoorbeeld een universeelmeter, geaard is dan ontstaat er een kortsluiting. Volg maar de gesloten kringen h/i/j/k enerzijds en g/f/e/d/c/b anderzijds. De -U_b uitgang van de voedingssplitser wordt kortgesloten met de “massa”!

13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding



Figuur 4/13.13-4: De print voor de schakeling.

HOE MAAKT U DEZE PRINT?

OPTIE 1: zelf maken

U scant deze pagina en drukt deze met een inkjet-printer af op A4 formaat op transparante folie. U knipt de print uit en belicht er de fotogevoelige printplaat mee.

OPTIE 2: via Internet

U gaat naar **www.vego.nl/hobby** en selecteert uit het linker menu de optie "Printservice". In het rechter venster selecteert u het hoofdstuknummer. U kunt nu de print als TIF-file downloaden. U opent deze file in een beeldbewerkingsprogramma en drukt deze met de op de Internet-pagina aangegeven afmetingen op transparante folie af. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

OPTIE 3: GRATIS bestellen

U stuurt een **ONGEFRANKEERD** briefje naar Vego VOF, Antwoordnummer 30020, 6374 ED Landgraaf, met vermelding van het hoofdstuknummer. U krijgt per kerende post het printontwerpje op transparante folie **GRATIS** toegestuurd. U belicht hiermee de fotogevoelige print.

13.13 Symmetrische spanningen uit één voeding